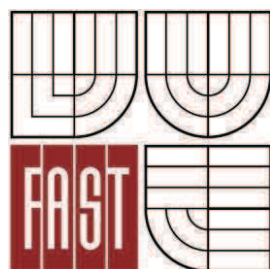




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

# **ZASTŘEŠENÍ SPORTOVNÍHO OBJEKTU.**

THE ROOFING OF THE SPORT HALL

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**MARTIN ŠTELC**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. STANISLAV BUCHTA**

BRNO 2013



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Martin Štelc
<b>Název</b>	Zastřešení sportovního objektu.
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Stanislav Buchta
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2012
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	24. 5. 2013
V Brně dne 30. 11. 2012	

.....  
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

### **Podklady a literatura**

ČSN EN 1991( ČSN 730035 ) Zatížení stavebních konstrukcí

ČSN EN 1993( ČSN 731401 ) Navrhování ocelových konstrukcí

ČSN EN 1995-1-1( ČSN 731701 ) Navrhování dřevěných konstrukcí

### **Zásady pro vypracování**

Vypracujte návrh a posouzení nosné dřevěné konstrukce střechy jednolodního sportovního objektu na rozpětí 40m pro lokalitu Brno.

Předepsané přílohy:

Technická zpráva

Statický výpočet základních nosných prvků

Výkresová část dle zadání vedoucího práce

### **Předepsané přílohy**

.....  
Ing. Stanislav Buchta  
Vedoucí bakalářské práce

### **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá vypracováním návrhu a posouzením nosné dřevěné konstrukce střechy jednolodního sportovního objektu na rozpětí 40m pro lokalitu Brno. Půdorysné rozměry jsou 40 x 52,5 m a výška haly je 16 m. Sportovní hala je určena pro většinu sportů hraných ve vnitřních prostorech. Nosná část zastřešení je navržena jako oblouková konstrukce z lepeného lamelového dřeva. Konstrukce je tvořena z příčných vazeb - trojkloubových oblouků se vzdáleností 3,5 m. Oblouky jsou spojeny vaznicemi. Stabilita je zajištěna umístěním čtyř polí ztužidel.

### **Klíčová slova**

Nosná konstrukce, rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo, plnostěnný oblouk, vaznice, sloupek, ztužidla, tříkloubový oblouk

### **Abstract**

This thesis deals with the drafting and assessment of timber structures, the single-roof sports facility to span 40 meters for the Brno locality. Hall dimensions are 40 x 52.5 m. A height of the hall is 16 m sports hall is designed for most sports played indoors. The supporting part of the roof is designed as an arch structure made of glued laminated wood. The structure is made up of cross-linking - triple joint arches distance of 3.5 m. Arches are connected by purlins. Stability is ensured by placing four fields bracing.

### **Keywords**

Supporting structure, solid timber, glued laminated timber, solid-arch, purlins, column, bracing, triple joint arc

### **Bibliografická citace VŠKP**

ŠTELC, Martin. *Zastřešení sportovního objektu..* Brno, 2013. 53 s., 11 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Stanislav Buchta.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23.5.2013

.....  
podpis autora  
Martin Štelc

# **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP**

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

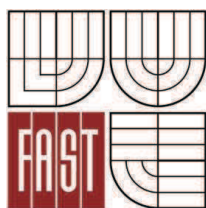
V Brně dne 23.5.2013

.....  
podpis autora  
Martin Štelc

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Stanislavu Buchtovi za poskytnutý čas, udělení cenných rad, zodpovězení všech mých dotazů a za odborné vedení během zpracování bakalářské práce.





VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA STAVEBNÍ

## POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

**Vedoucí práce** Ing. Stanislav Buchta  
**Autor práce** Martin Štelc

**Škola** Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta** Stavební  
**Ústav** Ústav kovových a dřevěných konstrukcí  
**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby  
**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství

**Název práce** Zastřešení sportovního objektu.

**Název práce v anglickém jazyce** The Roofing of the Sport Hall

**Typ práce** Bakalářská práce

**Přidělovaný titul** Bc.

**Jazyk práce** Čeština

**Datový formát elektronické verze**

**Anotace práce** Bakalářská práce se zabývá vypracováním návrhu a posouzením nosné dřevěné konstrukce střechy jednolodního sportovního objektu na rozpětí 40m pro lokalitu Brno. Půdorysné rozměry jsou 40 x 52,5 m a výška haly je 16 m. Sportovní hala je určena pro většinu sportů hraných ve vnitřních prostorách. Nosná část zastřešení je navržena jako oblouková konstrukce z lepeného lamelového dřeva. Konstrukce je tvořena z příčných vazeb - trojkloubových oblouků se vzdáleností 3,5 m. Oblouky jsou spojeny vaznicemi. Stabilita je zajištěna umístěním čtyř polí ztužidel.

**Anotace práce v anglickém jazyce** This thesis deals with the drafting and assessment of timber structures, the single-roof sports facility to span 40 meters for the Brno locality. Hall dimensions are 40 x 52.5 m. A height of the hall is 16 m sports hall is designed for most sports played indoors. The supporting part of the roof is designed as an arch structure made of glued laminated wood. The structure is made up of cross-linking - triple joint arches distance of 3.5 m. Arches are connected by purlins. Stability is ensured by placing four fields bracing.

**Klíčová slova** Nosná konstrukce, rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo, plnostěnný oblouk,

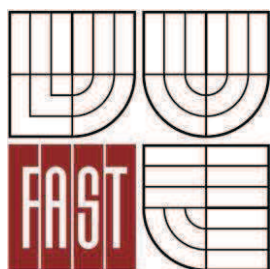
**Klíčová slova v  
anglickém  
jazyce**

vaznice, sloupek, ztužidla, tříkloubový oblouk

Supporting structure, solid timber, glued laminated timber, solid-arch,  
purlins, column, bracing, triple joint arc



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH  
KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## ZASTŘEŠENÍ SPORTOVNÍHO OBJEKTU THE ROOFING OF THE SPORT HALL

## TECHNICKÁ ZPRÁVA TECHNICAL REPORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MARTIN ŠTELC

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. STANISLAV BUCHTA

BRNO 2013

## OBSAH:

1	Úvod .....	2
2	Popis konstrukce .....	2
2.1	Konstrukční řešení .....	2
2.2	Materiál .....	3
2.3	Zatížení .....	3
2.4	Statický výpočet .....	3
2.5	Prvky konstrukce .....	3
2.5.1	Střešní plášť .....	3
2.5.2	Vaznice .....	4
2.5.3	Plnostěnný oblouk .....	4
2.5.4	Sloupek .....	4
2.5.5	Paždík .....	4
2.5.6	Ztužidla .....	5
2.6	Spoje a kotvení .....	5
2.6.1	Montážní spoj oblouku .....	5
2.6.2	Vrcholový kloub a uložení oblouku .....	5
2.6.3	Připojení vaznice k vazníku .....	5
2.6.4	Připojení ztužidla k vazníku .....	6
2.6.5	Připojení sloupku k vazníku .....	6
2.7	Štítové stěny .....	6
3	Ochrana konstrukce .....	6
4	Montáž konstrukce .....	7
5	Využití haly .....	7
6	Výkaz materiálu .....	8
7	Závěr .....	8
8	Seznam použité literatury .....	9

## 1 Úvod

Cílem bakalářské práce je vypracovat návrh a posouzení nosné dřevěné konstrukce střechy jednolodního sportovního objektu. Objekt je umístěn v Jihomoravském kraji, lokalita Brno. Půdorysné rozměry haly jsou 40 x 52,5 m. Rozměry jsou zvoleny dle potřebných hracích ploch pro různé sporty a umístění sociálních zařízení na jedné straně haly. Konstrukce je navržena a posouzena dle příslušných norem.

## 2 Popis konstrukce

### 2.1 Konstrukční řešení

Jde o dřevěnou konstrukci z lepeného lamelového a rostlého dřeva. Půdorysné rozměry haly jsou 40 x 52,5 m a výška haly je 16 m (měřeno na osy). Konstrukce je tvořena z příčných vazeb. Jednotlivé příčné vazby jsou od sebe vzdáleny 3,5 m. Vazníky jsou udělány z lepeného lamelového dřeva třídy GL24h na rozpětí haly 40 m. Statický systém je zvolen jako trojkloubový oblouk o poloměru zaoblení oblouku (vazníku) ke střednici je  $R = 21,898$  m. Vazníky jsou kloubově připojeny pomocí čepů do bočních podélných stěn. Nosnou část střešního pláště tvoří vaznice obdélníkového průřezu z rostlého dřeva C24. Vaznice jsou kloubově uloženy na horní stranu vazníku. Spodní strana vaznice leží na horní straně vazníku. Sklon vaznice je dle sklonu horní strany vazníků, který se odvíjí od geometrie, je proměnný. Vaznice jsou dlouhé 3,5 m. Na vaznice je připevněno podbití. Ztužení konstrukce zajišťují 4 střešní ztužidla umístěná po dvou na krajích haly a dvě zhruba ve třetinách délky haly.

Přední štítová stěna je tvořena pomocí sloupků z lepeného lamelového dřeva třídy GL24h o proměnné délce dle výšky konstrukce a konstantního obdélníkového průřezu. Stěna je vyplněna pomocí skleněné fasády. Zadní štítová stěna je vyzděná a je zde umístěn vchod do haly.

Zastřešení je umístěno na spodní konstrukci z betonu C16/20.

Celková zastavěná plocha je 2346,080 m<sup>2</sup>.

## 2.2 Materiál

Konstrukce se skládá z několika druhů materiálu, díky tomuto můžeme konstrukci zařadit mezi hybridní typy. Plnostěnné oblouky jsou zhotoveny z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL24h. Vaznice jsou z rostlého dřeva třídy pevnosti C24. Další prvky jako plechy spojů, kolíky, čepové spoje, svorníky a vruty jsou z oceli třídy pevnosti S235.

## 2.3 Zatížení

Hala se nachází ve II. sněhové a II. větrné oblasti. Zatížení sněhem bylo stanoveno pro oblast Brno, dle sněhové mapy  $s_k = 0,82 \text{ kN/m}^2$ . Základní rychlost větru je uvažována  $v_b = 25 \text{ m/s}$ . Ve statickém výpočtu je uvedeno sestavení zatěžovacích stavů. Vlastní tíhu vygeneroval program Scia Engineer 2012. Ostatní stálé zatížení se skládá ze střešního pláště, spojovacích prostředků, podbití, osvětlení, klimatizace a dalšího vybavení haly. Další zatížení viz. statický výpočet.

Rozhodující kombinace pro MSÚ a MSP jsou generovány programem Scia Engineer 2012.

## 2.4 Statický výpočet

Výpočtový model je sestaven v programu Scia Engineer 2012 jako 3D prutová konstrukce. Plnostěnný oblouk je tvořen ze segmentů oblouku. Délka odpovídá vzdálenosti vaznic. K obloukům jsou vaznice připojeny pomocí uzlů. Sloupky ve štítové stěně jsou připojeny do uzlů k vaznicím. Vzdálenost sloupků odpovídá vzdálenosti uzlů, do kterých jsou sloupky připojeny.

## 2.5 Prvky konstrukce

### 2.5.1 Střešní plášť

Střešní plášť je navržen ze střešních panelů KingSpan KS1000 TOP-DEK. Jedná se o zateplovací polyuretanový panel se skrytým upevněním ke konstrukci ve spodní vlně. Střešní plášť je uložen na vaznice.

### 2.5.2 Vaznice

Vaznice jsou zhotoveny z rostlého dřeva třídy pevnosti C24 obdélníkového průřezu o rozměrech 160 x 180 mm. Jsou usazeny na horní stranu oblouku a působí jako prostý nosník o délce 3,5 m. Vaznice jsou rozmístěny rovnoměrně na horní straně vazníku ve vzdálenosti 1,44 m a jsou natočeny podle proměnného sklonu oblouku.

### 2.5.3 Plnostěnný oblouk

Plnostěnný oblouk je zhotoven z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL24h obdélníkového průřezu 170 x 900 mm. V horním pásu vazníku je bráněno klopení pomocí vaznic. V dolním pásu je navržena tyč profilu 16mm, která je připojena pomocí styčnickového plechu, který je vruty připojen k vazníku (viz podélný řez). Rozpětí oblouku je 40 m. Je navržen jako tříkloubový z důvodu lepších statických vlastností při nerovnoměrném sedání. Dalším důvodem rozdělení je přeprava z výroby na místo stavby, proto je oblouk dále rozdělen dvěma montážními spoji uprostřed každé poloviny. Délka jednotlivých částí není delší než 15 m, takže by neměl být problém s převozem na staveniště.

### 2.5.4 Sloupek

Sloupek je navržen v přední štítové stěně z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL24h obdélníkového průřezu 200 x 500 mm. Sloupky jsou rozmístěny dle vzdálenosti uzlů, do kterých jsou připojeny. Výška sloupku je proměnná podle výšky oblouku.

### 2.5.5 Paždík

Paždíky jsou navrženy z rostlého dřeva třídy pevnosti GL24h. Mají obdélníkový průřez 130 x 130 mm. Na výšku jsou ve stěně rovnoměrně rozmístěny po osové vzdálenosti 2 m. Délka paždíku odpovídá vzdálenosti sloupků. Materiál zvolen kvůli vzhledu a celistvosti stěny.

### **2.5.6 Ztužidla**

Ztužidla jsou rozmístěna dohromady ve čtyřech příčných pásech a to na krajích haly a dále ve zhruba ve třetinách délky konstrukce. Ztužidla jsou z ocelových táhel průměru 16 mm. Jsou vedena křížmo mezi sousedními vaznicemi a jsou působící jen na tah. Připojení táhel ztužidla je navrženo pomocí kloubu v místě připojení vaznic k vazníku pomocí litinových hlavic firmy Halfen - systém táhel DETAN.

## **2.6 Spoje a kotvení**

### **2.6.1 Montážní spoj oblouku**

Místo k provedení montážního spoje bylo zvoleno vzhledem k maximálním délkám pro přepravu jednotlivých částí. Montážní spoj přenáší velký ohybový, proto je zhotoven pomocí svorníků ve čtyřech soustředných kruzích. Spoj tvoří svorníky a kolíky o průměru 20 mm a vsazený plech o tloušťce 20 mm. Tlakové síly jsou přenášeny kontaktem přes čelní desku.

### **2.6.2 Vrcholový kloub a uložení oblouku**

Vrcholový kloub je tvořen ocelovým čepem o průměru 55 mm. Stejný čep je taky navržen i v uložení vazníku. Čep jak k oblouku připojen pomocí vsazeného plechu a 2 svorníky a 6 kolíky o průměru 20 mm. Tlakové síly jsou přenášeny kontaktem na čelní desku. Plechy jsou svařeny koutovým svařem o tloušťce svaru 5 mm.

Ukotvení je provedeno úložnou deskou, která je uchycena pomocí čtyř lepených ocelových šroubů M24 4.8. Pod deskou je podlití o výšce 30 mm.

### **2.6.3 Připojení vaznice k vazníku**

Vaznice je uložena na horní povrch vazníku. Vaznice jsou k plnostěnnému oblouku připojeny pomocí úhelníku BeA 90°, kombinovaný rovnoramenný o rozměrech 110 x 110 x 3,0 x 40, který je připojen čtyřmi vruty o průměru 10 mm a délce 60 mm.



#### **2.6.4 Připojení ztužidla k vazníku**

Táhlo ztužidla je připojeno k vazníku pomocí styčnickového plechu o tloušťce 5 mm a rozměrech 225 x 85 mm. Plech je připojen pomocí čtyř vrtů o průměru 8 mm a délce 100 mm.

#### **2.6.5 Připojení sloupku k vazníku**

Sloupek je připojen k vazníku pomocí posuvného přípoje. K vazníku je připojen plech, který je spojen se sloupkem svorníkem průměru 24 mm. V plechu je svorníku umožněn svislý posun. Vzhledem k možnosti koroze jsou navrženy pravidelné prohlídky konstrukce.

### **2.7 Štítové stěny**

Konstrukce přední štítové stěny je navržena ze sloupků a paždíků, které tvoří nosnou konstrukci pro skleněnou fasádu. Vzhledem k průhybu sloupku je uložení skla provedeno pomocí poddajného uložení.

Zadní štítová stěna je vyzděna samonosným zdivem typu Porotherm P+D30 s dodatečným zateplením. Ve stěně je umístěn

## **3 Ochrana konstrukce**

Všechny dřevěné prvky konstrukce se opatří impregnací proti škůdcům, dřevokaznému hmyzu a houbám. Impregnace se provede máčením. Dřevo je také napuštěno chemickými prostředky snižující jeho hořlavost a rychlost šíření ohně. Povrch dřeva bude opatřen nátěrem bezbarvého laku.

Ocelové prvky se opatří základním nátěrem antikorozi barvou, který obsahuje látky zabraňující korozi.

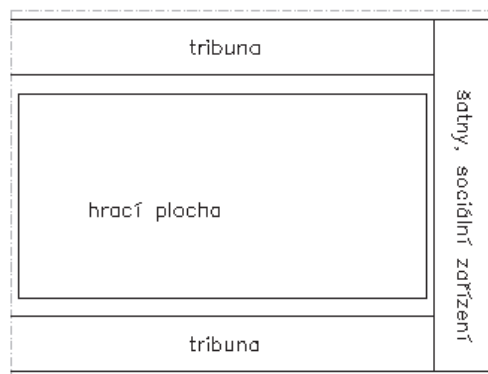
## 4 Montáž konstrukce

V první části výstavby se provede betonáž spodní stavby z betonu C16/20. Jednotlivé díly jsou na stavbu dovezeny po částech. Postupuje se od jednoho konce k druhému. Pomocí autojeřábu se osadí dva sousední páry spodních částí oblouků do vybetonované spodní konstrukce pomocí čepu a ukotví se šrouby. Pomocí montážního spoje se poté připojí další dvě části oblouků. Stabilita se zajistí vaznicemi a příčným ztužidlem. Nyní se poloviny vazníku vztyčí pomocí autojeřábu směrem vzhůru a provede se spojení ve vrcholu pomocí čepu. Dále se instalují ostatní oblouky a připojují se už ke stojící konstrukci pomocí vaznic. Následuje konstrukce štítových stěn. Obě stěny se montují současně. V přední stěně se ukotví sloupky a připojí paždíky, nakonec se připevní skleněná fasáda. Zadní stěna je vyzděná. Poslední částí montáže je zhotovení střešního pláště.

## 5 Využití haly

Konstrukce haly je navržena jako víceúčelová pro sportovní využití. Hřiště se skládá z několika hracích ploch, je uvažována i kombinace více menších hřišť napříč haly pro účely tréninku. Největší herní plocha je potřeba na házenou - 44x22 m. Dále jsou zde možné provozovat sporty jako je florbal, korfbal, sálová kopaná, pro které je potřebná plocha 40x20m. Mohou se zde provozovat další sporty, pro které stačí menší herní plocha jako je basketbal, volejbal, nohejbal, stolní tenis, badminton. Na volejbal a nohejbal je zde hlavní zápasové hřiště, pro trénink nebo turnaj se mohou postavit 3 hřiště napříč haly. Obdobně je tomu tak u badmintonu, kde lze postavit 5 tréninkových hřišť napříč haly. Na stolní tenis lze postavit až 20 hracích stolů po celé ploše. U všech sportů je zajištěna světlá hrací výška, která je největší pro badminton 9 m.

U podélných stran konstrukce jsou umístěny tribuny pro diváky o šířce přibližně 6 m. U zadní štítové stěny jsou umístěny šatny, sociální zařízení a vchod do haly, případně potřebné technické místnosti.



## 6 Výkaz materiálu

viz. Scia engineer

### 3. Výkaz materiálu

Jméno	Hmotnost [kg]	Povrch [m <sup>2</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]
*Studentská verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze*			
Celkový součet :	74328,9	3352,591	1,8571e+02

Průřez	Materiál	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]	Povrch [m <sup>2</sup> ]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]
*Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze*							
nosník - OBDEL (170; 900)	GL24h	58,1	806,649	46898,5	1726,227	380,0	1,2342e+02
vaznice - OBDEL (180; 180)	Q24	10,1	1890,000	19051,2	1285,202	350,0	5,4432e+01
ztužidlo1 - RD16	S 235	1,6	1059,591	1671,5	53,258	7850,0	2,1294e-01
sloupek - OBDEL (500; 300)	GL24h	38,0	152,046	5777,8	212,865	380,0	1,5205e+01
paždík - OBDEL (130; 130)	GL24h	6,4	144,295	926,7	75,033	380,0	2,4386e+00

## 7 Závěr

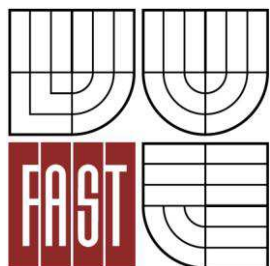
Konstrukce byla řešena jako 3D model v programu Scia Engineer 2012. Z výpočtových modelů programu byly získány vnitřní síly působící na konstrukci. Posouzení jednotlivých prvků je provedeno ručně dle aktuálních norem pro stavebnictví.

## 8 Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 1991-1-1 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 44 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-3 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005, 52 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-4 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 124 s.
- [4] ČSN EN 1993-1-1 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 96 s.
- [5] ČSN EN 1993-1-8 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 128 s.
- [6] ČSN EN 1995-1-1 *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 114 s.
- [7] STRAKA, B., SÝKORA, K. *Dřevěné konstrukce, Studijní opory BO03*, VUT-Fast Brno, 2005
- [8] *Materiály pro navrhování dřevěných konstrukcí*. Dostupné z: <http://www.drevo.wz.cz/>
- [9] *Sněhová mapa*. Dostupné z: <http://snehovamapa.cz/>
- [10] *Systém táhel Detan*. Dostupné z: <http://www.halfen.cz/>
- [11] *Panely KINGSPAN*. Dostupné z: <http://panely.kingspan.cz/>



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## ZASTŘEŠENÍ SPORTOVNÍHO OBJEKTU. THE ROOFING OF THE SPORT HALL

## STATICKÝ VÝPOČET STATIC CALCULATION

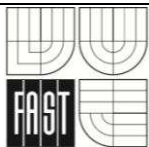
## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MARTIN ŠTELC

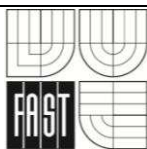
VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. STANISLAV BUCHTA

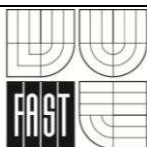


## **OBSAH**

<b>OBSAH .....</b>	<b>1</b>
<b>1 GEOMETRIE KONSTUKCE .....</b>	<b>4</b>
<b>2 VÝPOČTOVÝ MODEL .....</b>	<b>5</b>
<b>3 ZATÍŽENÍ .....</b>	<b>6</b>
3.1 STÁLÉ .....	6
3.1.1 Vlastní tíha .....	6
3.1.2 Střešní plášť .....	6
3.1.3 Vybavení haly .....	6
3.2 PROMĚNNÉ .....	6
3.2.1 Zatížení sněhem .....	6
3.2.2 Zatížení větrem .....	7
3.2.2.1 Základní rychlost větru .....	7
3.2.2.2 Střední rychlost větru .....	7
3.2.2.3 Maximální dynamický tlak .....	7
3.2.2.4 Tlak na plochu .....	7
3.2.2.5 Vítr příčný .....	8
3.2.2.6 Vítr podélný .....	8
3.3 ZATĚŽOVACÍ STAVY .....	9
3.4 KOMBINACE .....	9
<b>4 DIMENZOVÁNÍ .....</b>	<b>10</b>
4.1 VAZNICE .....	10
4.1.1 Materiál .....	10
4.1.2 Průřezové charakteristiky .....	11
4.1.3 Posouzení vaznice .....	11
4.1.3.1 Zatížení - Stálé .....	11
4.1.3.2 Zatížení - Proměnné .....	11
4.1.3.3 Posouzení MSÚ .....	11
4.1.3.4 Posouzení MSP .....	14
4.2 PLNOSTĚNNÝ OBLOUK .....	15
4.2.1 Materiál .....	15
4.2.2 Průřezové charakteristiky .....	16
4.2.3 Posouzení plnostěnného oblouku .....	16
4.2.3.1 Zatížení - Stálé .....	16
4.2.3.2 Zatížení - Proměnné .....	16
4.2.3.3 Zatěžovací stavy .....	16
4.2.3.4 Kombinace zatěžovacích stavů .....	16
4.2.3.5 Vnitřní síly v plnostěnném oblouku .....	17
4.2.3.6 Posouzení MSÚ .....	17
4.2.3.7 Posouzení MSP .....	21



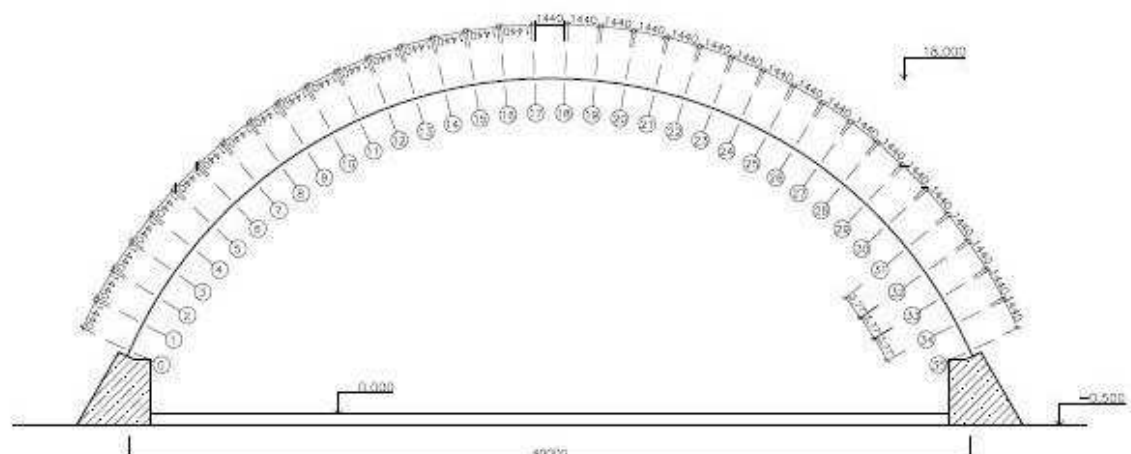
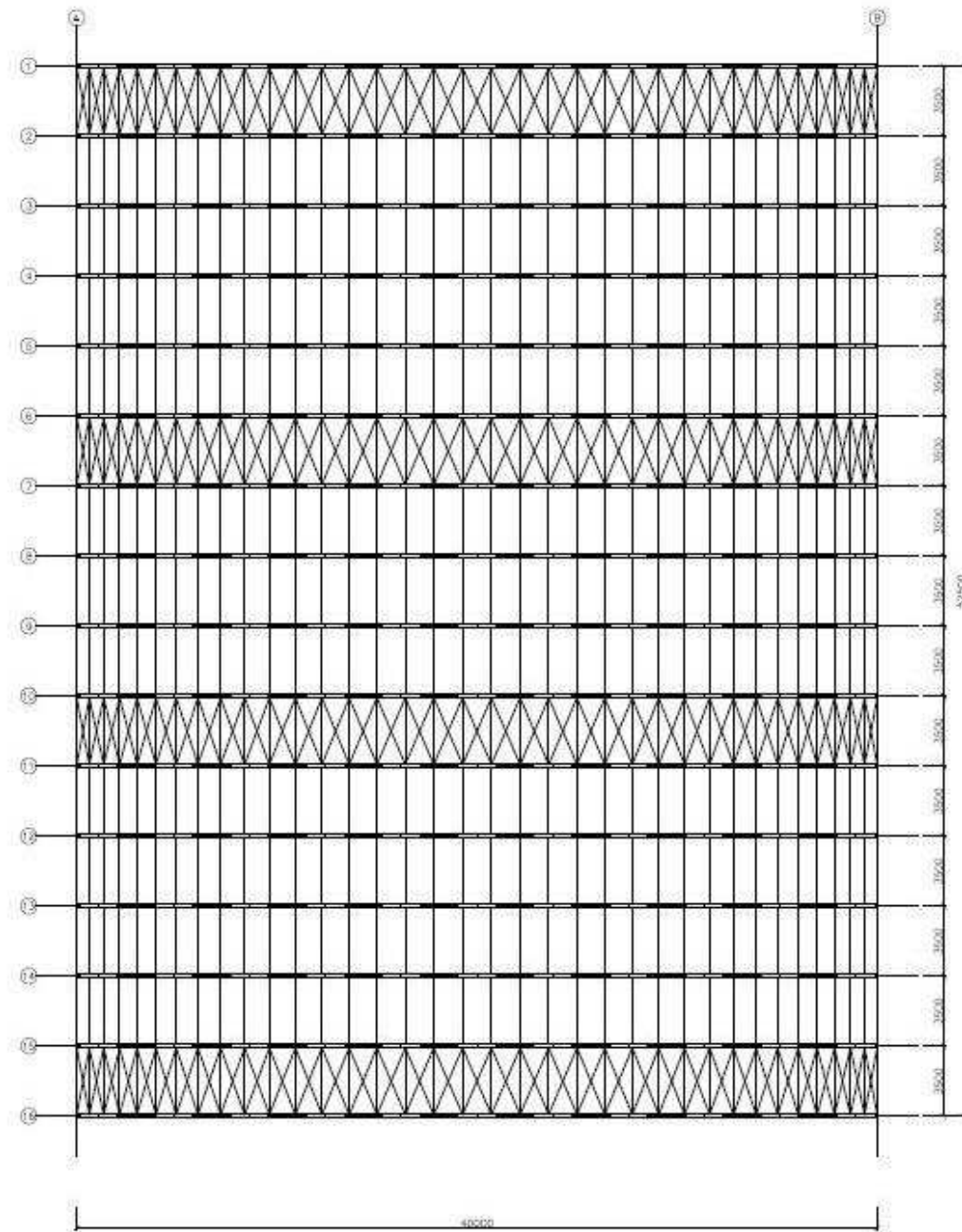
4.3	SLOUPEK.....	22
4.3.1	Zatížení .....	22
4.3.1.1	Vítr.....	22
4.3.2	Materiál.....	22
4.3.3	Průřezové charakteristiky .....	23
4.3.4	Posouzení MSÚ .....	23
4.3.4.1	Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu .....	23
4.3.4.2	Ověření příčné a torzní stability .....	25
4.3.5	Posouzení MSP .....	25
4.4	PAŽDÍK.....	26
4.4.1	Materiál.....	26
4.4.2	Průřezové charakteristiky .....	26
4.4.3	Posouzení MSÚ .....	27
4.4.3.1	Posouzení na kombinaci tahu a ohybu .....	27
4.4.3.2	Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu .....	28
4.5	ZTUŽIDLA .....	30
4.5.1	Zatížení od větru .....	31
4.5.2	Parametry diagonály .....	31
4.5.3	Posouzení MSÚ .....	31
4.5.3.1	Posouzení ztužidla .....	31
<b>5</b>	<b>SPOJE .....</b>	<b>32</b>
5.1	MONTÁŽNÍ SPOJ .....	32
5.1.1	Vnitřní síly v místě spoje .....	32
5.1.2	Vnitřní síly působící na spojovací prvky .....	32
5.1.3	Parametry kolíků a svorníků .....	32
5.1.4	Parametry vsazeného plechu.....	32
5.1.5	Geometrie spoje .....	33
5.1.6	Posouzení MSÚ .....	34
5.1.6.1	Síla působící na jeden svorník.....	34
5.1.6.2	Únosnost jednoho spojovacího prvku na jeden střih .....	34
5.1.6.3	Posouzení kolíkového spoje.....	35
5.2	KOTVENÍ A VRCHOLOVÝ SPOJ OBLOUKŮ - ČEPY .....	36
5.2.1	Reakce do podpor .....	36
5.2.2	Vnitřní síly ve vrcholovém kloubu .....	36
5.2.3	Posouzení MSÚ .....	36
5.2.3.1	Posouzení čepu .....	36
5.2.3.2	Posouzení připojení vsazeného plechu do oblouku.....	38
5.2.3.3	Posouzení svarů .....	40
5.2.3.4	Posouzení kotevních šroubů.....	41
5.3	PŘIPOJENÍ VAZNICE K PLNOSTĚNNÉMU OBLOUKU .....	43
5.3.1	Posouzení únosnosti pro jeden střih.....	43
5.3.2	Posouzení únosnosti spoje na vytažení .....	43



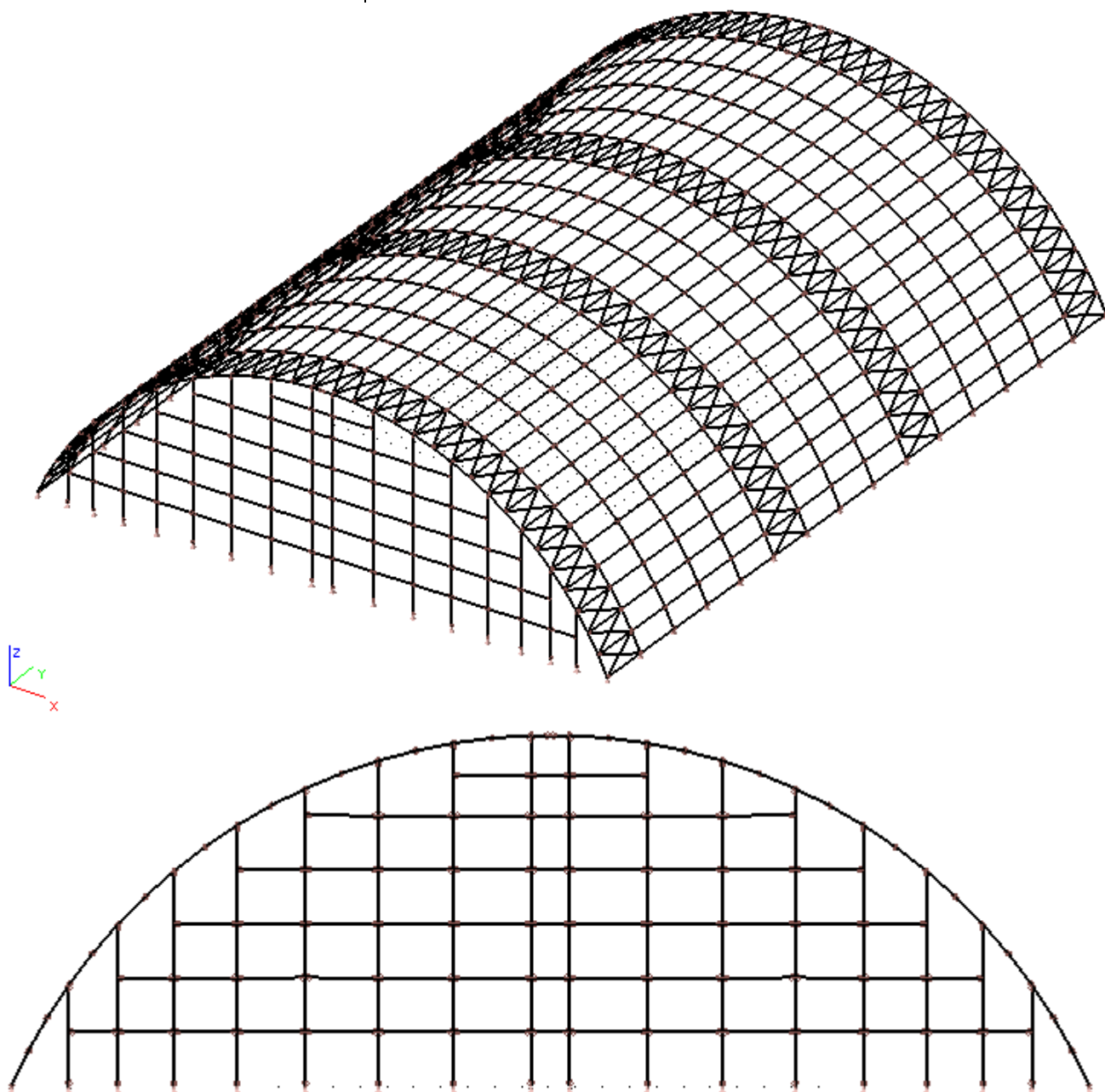
5.4	PŘIPOJENÍ ZTUŽIDLA .....	44
5.4.1	Připojení styčnickové plechu k vazníku .....	44
5.4.1.1	Působící síly .....	44
5.4.1.2	Posouzení únosnosti pro jeden střih .....	44
5.4.1.3	Posouzení únosnosti spoje na vytažení .....	45
5.4.1.4	Posouzení kombinace osového a příčného zatížení .....	45
5.4.2	Přivaření styčnickového plechu koutovým svarem .....	45
5.4.2.1	Posouzení svaru styčnickového plechu .....	45
5.4.3	Připojení ztužidla .....	46
5.4.3.1	Parametry čepového přípoje .....	46
5.4.3.2	Posouzení čepu na střih .....	46
5.5	KOTVENÍ SLOUPKU .....	47
5.5.1	Reakce do podpor .....	47
5.5.2	Vnitřní síly ve sloupu .....	47
5.5.3	Posouzení MSÚ .....	47
5.5.3.1	Návrh kotevního prvku .....	47
5.5.3.2	Posouzení svarů .....	48
5.5.3.3	Parametry svorníků .....	48
5.5.3.4	Posouzení kotevních šroubů .....	50
5.6	PŘIPOJENÍ SLOUPKU NA VAZNÍK .....	52
5.6.1	Parametry plechu .....	52
5.6.2	Posouzení únosnosti spoje na vytažení .....	52
5.6.3	Posouzení oslabeného průřezu sloupku na smyk .....	52
<b>6</b>	<b>VÝSTUPY NA ZÁKLADY .....</b>	<b>53</b>
6.1	REAKCE OD VAZNÍKU .....	53
6.2	REAKCE OD SLOUPU .....	53
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>54</b>



## 1 GEOMETRIE KONSTUKCE



## 2 VÝPOČTOVÝ MODEL



### 3 ZATÍŽENÍ

#### 3.1 Stálé

##### 3.1.1 Vlastní tíha

Generováno programem SCIA Engineer

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

##### 3.1.2 Střešní plášť

Střešní panel Kingspan KS1000 TOP-DEK

$$0,12 \text{ kN/m}^2$$

Bednění tloušťky 150mm

$$0,12 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{1k} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

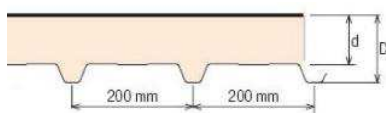
##### 3.1.3 Vybavení haly

Vybavení haly

$$0,15 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{2k} = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

$$G_k = \sum g_{ik} = 0,39 \text{ kN/m}^2$$



$$d = 100 \text{ mm}$$

$$D = 130 \text{ mm}$$

#### 3.2 Proměnné

##### 3.2.1 Zatížení sněhem

Lokalita Brno

Sněhová oblast II

$$s_k = 0,82 \text{ kN/m}^2$$

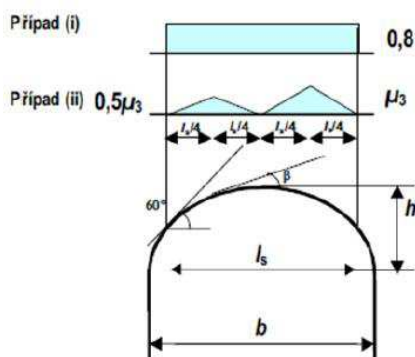
(viz. [www.snehovamapa.cz](http://www.snehovamapa.cz) - ČHMU)

$$c_e = 1,0$$

součinitel okolního prostředí

$$c_t = 1,0$$

součinitel tepla



$$\mu_1 = 0,8$$

tvarový součinitel střechy

$$\mu_3 = 2,0$$

tvarový součinitel střechy

Rovnoměrný

$$s_1 = \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,82 = 0,656 \text{ kN/m}^2$$

Navátý

$$s_2 = \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,82 = 1,64 \text{ kN/m}^2$$

$$s_3 = 0,5 \cdot \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,82 = 0,82 \text{ kN/m}^2$$

### **3.2.2 Zatížení větrem**

Lokalita Brno

Větrná oblast II

Typ terénu III

$$z_0 = 0,3m; z_{min} = 5m$$

#### **3.2.2.1 Základní rychlost větru**

$$v_{b,0} = 25 \text{ ms}^{-1}$$

$$c_{dir} = 1,0$$

$$c_{season} = 1,0$$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ ms}^{-1}$$

#### **3.2.2.2 Střední rychlost větru**

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{16}{0,3}\right) = 0,855$$

$$k_r(z) = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 \cdot (0,3/0,05)^{0,07} = 0,215$$

$$c_0(z) = 1,0$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b(z) = 0,855 \cdot 1,0 \cdot 25 = 21,374 \text{ ms}^{-1}$$

#### **3.2.2.3 Maximální dynamický tlak**

$$l_v(z) = \frac{k_r(z) \cdot v_b \cdot k_l}{v_m(z)} = \frac{0,215 \cdot 25 \cdot 1,0}{21,374} = 0,252$$

$$\rho = 1,25 \text{ kgm}^{-3}$$

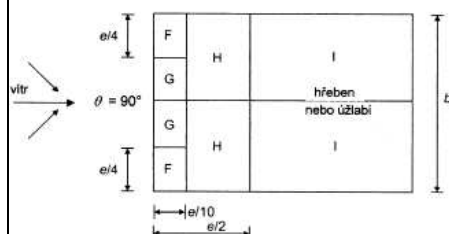
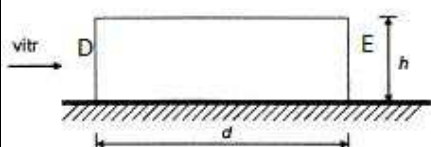
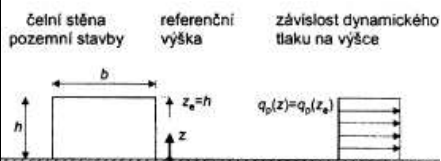
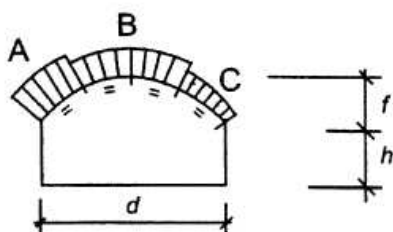
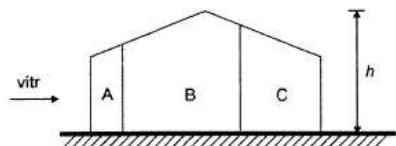
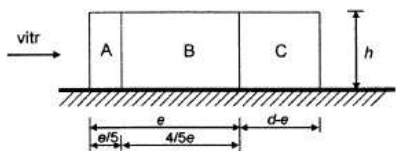
$$k_l = 1,0$$

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,252] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 21,374^2 = \\ &= 0,788 \text{ kNm}^{-2} \end{aligned}$$

#### **3.2.2.4 Tlak na plochu**

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10}$$

Pohled pro  $e < d$



### 3.2.2.5 Vitr příčný

#### 3.2.2.5.1 Tlak a sání na štítové stěny

$$w_A = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,788 \cdot (-1,2) = -0,946 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_B = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,788 \cdot (-0,92) = -0,725 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_C = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,788 \cdot (-0,5) = -0,394 \text{ kNm}^{-2}$$

#### 3.2.2.5.2 Tlak a sání na krytinu

$$w_A = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,788 \cdot 0,5 = 0,394 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_B = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,788 \cdot (-1,05) = -0,827 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_C = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,788 \cdot (-0,4) = -0,315 \text{ kNm}^{-2}$$

### 3.2.2.6 Vitr podélný

#### 3.2.2.6.1 Tlak a sání na štítové stěny

$$w_D = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,788 \cdot 0,72 = 0,567 \text{ kNm}^{-2}$$

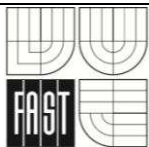
$$w_E = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,788 \cdot (-0,34) = -0,268 \text{ kNm}^{-2}$$

#### 3.2.2.6.2 Tlak a sání na krytinu

Vitr je proměnný podle sklonu střechy.

Hodnoty pro jednotlivé oblasti:

Sklon [°]	oblast F		oblast G		oblast H		oblast I	
	$c_{pe,10}$	$w_F \text{ [kN/m}^2\text{]}$	$c_{pe,10}$	$w_G \text{ [kN/m}^2\text{]}$	$c_{pe,10}$	$w_H \text{ [kN/m}^2\text{]}$	$c_{pe,10}$	$w_I \text{ [kN/m}^2\text{]}$
60	-1,1	-0,867	-1,2	-0,946	-0,8	-0,630	-0,5	-0,394
45	-1,1	-0,867	-1,4	-1,103	-0,9	-0,709	-0,5	-0,394
30	-1,1	-0,867	-1,4	-1,103	-0,8	-0,630	-0,5	-0,394
15	-1,3	-1,024	-1,3	-1,024	-0,6	-0,473	-0,5	-0,394
5	-1,6	-1,261	-1,3	-1,024	-0,7	-0,552	-0,6	-0,473



### **3.3 Zatěžovací stavy**

ZS1 - Vlastní tíha

ZS2 - Ostatní stálé

ZS3 - Sníh - rovnoměrný

ZS4a - Sníh - navátý pravý

ZS4b - Sníh - navátý levý

ZS5a - Sníh - sněžníky levé

ZS5b - Sníh - sněžníky pravé

ZS6 - Vítr - příčný

ZS7 - Vítr - podélný

### **3.4 Kombinace**

Návrhové hodnoty zatížení (STR/GEO) (soubor B) - tab. 1.2

Rovnice 6.10:

Kombinace příznivá:

$$\sum \gamma_{G,sup} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Kombinace nepříznivá:

$$\sum \gamma_{G,inf} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Součinitel spolehlivosti:

$\gamma_{G,sup} = 1,35$  stálé zatížení nepříznivé

$\gamma_{G,inf} = 1,00$  stálé zatížení příznivé

$\gamma_{Q,i} = 1,5$  proměnné zatížení

Kombinace provedené programem SCIA ENGINEER

## 4 DIMENZOVÁNÍ

### 4.1 Vaznice

Třída provozu 1.

Rozpětí  $L = 3,5$  m, prostý nosník vsazený mezi plnostěnné oblouky.

#### 4.1.1 Materiál

Dřevo rostlé C24

Třída pevnosti		C24	
pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24	Mpa
pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$	14	Mpa
	$f_{t,90,k}$	0,4	Mpa
pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$	21	Mpa
	$f_{c,90,k}$	2,5	Mpa
pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	4	Mpa
modul pružnosti v tahu, tlaku	$E_{0,mean}$	11	Gpa
	$E_{0,05}$	7,4	Gpa
	$E_{90, mean}$	0,37	Gpa
modul pružnosti ve smyku	$G_{mean}$	0,69	Gpa
hustota	$\rho_k$	350	kg/m <sup>3</sup>

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,3} = 16,62 \text{ MPa}$$

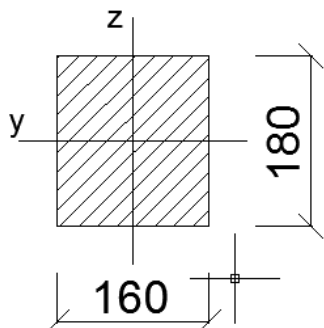
$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{21}{1,3} = 14,54 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,77 \text{ MPa}$$

$k_{mod} = 0,9$  Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zátěže

$\gamma_M = 1,3$  Dílčí součinitel vlastnosti materiálu - rostlé dřevo





#### 4.1.2 Průřezové charakteristiky

$$b = 0,16 \text{ m} ; h = 0,18 \text{ m}$$

$$A = b \cdot h = 0,16 \cdot 0,18 = 0,0288 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,16 \cdot 0,18^3 = 7,776 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 0,16^3 \cdot 0,18 = 6,144 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$w_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,16 \cdot 0,18^2 = 8,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$w_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h = \frac{1}{6} \cdot 0,16^2 \cdot 0,18 = 7,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

#### 4.1.3 Posouzení vaznice

Hodnoty pro výpočet branné z programu SCIA ENGINEER.

##### 4.1.3.1 Zatížení - Stálé

Viz kapitola 3.1 Zatížení - Stálé

Vlastní tíha vaznice

$$g_{0k} = 0,08 \text{ kN/m}$$

Střešní plášť

$$g_{1k} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

Vybavení haly

$$g_{2k} = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

##### 4.1.3.2 Zatížení - Proměnné

Viz kapitola 3.1 Zatížení - Proměnné

Zatížení sněhem

$$s_k = 0,82 \text{ kNm}^{-2}$$

Zatížení větrem

$$w_k = \text{dle oblasti}$$

##### 4.1.3.3 Posouzení MSÚ

###### 4.1.3.3.1 Posouzení vaznic na klopení

$$l = 3,5 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{234,54 \cdot 10^6}} = 0,32$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,16^2}{0,18 \cdot 3,5} \cdot 7,4 \cdot 10^9 = 234,54 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,34 \leq 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1 \rightarrow \text{vaznice klopit nebude}$$



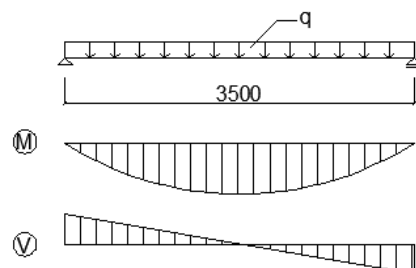


Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : H  
Výběr : Vše  
Třída : Všechny MSU  
Průřez : vaznice - OBDEL (180; 180)

Prvek	Stav	dx [m]	My [kNm]	Mz [kNm]
B926	CO1/13	1,750	-1,85	-0,47
B711	CO1/1	1,750	7,95	2,82
B1041	CO1/14	1,750	5,16	-5,61
B576	CO1/15	1,750	5,16	5,61

\*Studentův verze\* \*Studentův verze\* \*Studentův verze\* \*Studentův verze\*

B926	CO1/13	1,750	-1,85	-0,47
B711	CO1/1	1,750	7,95	2,82
B1041	CO1/14	1,750	5,16	-5,61
B576	CO1/15	1,750	5,16	5,61



#### 4.1.3.3.2 Posouzení vaznice na šikmý ohyb a osový tlak

$$M_{y,d} = 7,95 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 5,61 \text{ kNm}$$

(momenty viz výpočet SCIA)

Stabilizující síly do vaznice z oblouku viz kap. 4.4 Plnostěnný oblouk

$$N_d = \frac{(1 - k_{crit}) \cdot M_d}{h} = \frac{(1 - 0,18) \cdot 316,37 \cdot 10^3}{0,9} = 288,25 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{4,37 \cdot 10^6}} = 2,34$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,17^2}{0,9 \cdot 50,424} \cdot 8,8 \cdot 10^9 = 4,37 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = 2,34 \leq 0,75 \rightarrow k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{2,34^2} = 0,18$$

$$N_{Ed} = F_{Ed} = \frac{N_d}{k_{f,2}} = \frac{288,25 \cdot 10^3}{80} = 3,60 \text{ kN}$$

$$k_{f,2} = 80 \quad \text{Mod. součinitel pro lepené lamelové dřevo}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{w_y} = \frac{7,95 \cdot 10^3}{8,64 \cdot 10^{-4}} = 9,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{w_z} = \frac{5,61 \cdot 10^3}{7,68 \cdot 10^{-4}} = 7,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{3,6 \cdot 10^3}{0,0288} = 0,125 \text{ MPa}$$

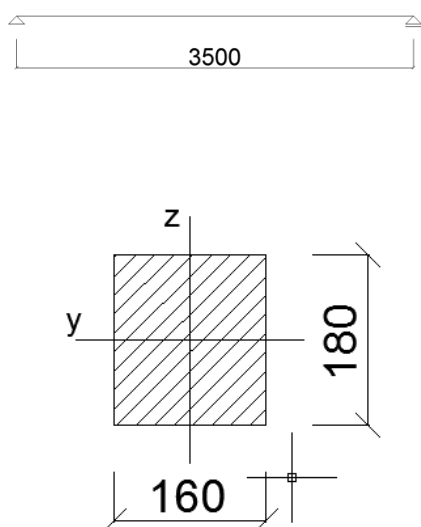
$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 + \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,02 + \sqrt{3,02^2 + 2,16^2}} = 0,15$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 + \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,67 + \sqrt{3,67^2 + 2,43^2}} = 0,12$$

$$k_y = 0,5 \cdot \{1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2\} = 0,5 \cdot \{1 + 0,2 \cdot (2,16 - 0,3) + 2,16^2\} = 3,02$$

$$k_z = 0,5 \cdot \{1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2\} = 0,5 \cdot \{1 + 0,2 \cdot (2,43 - 0,3) + 2,43^2\} = 3,67$$

$$\beta_c = 0,2 \quad \text{součinitel imperfekce pro rostlé dřevo}$$



$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{5,124 \cdot 10^6}} = 2,16$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{4,048 \cdot 10^6}} = 2,43$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} = \frac{\pi \cdot 7,4 \cdot 10^9}{67,36^2} = 5,124 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi \cdot E_{0,05}}{\lambda_z^2} = \frac{\pi \cdot 7,4 \cdot 10^9}{75,78^2} = 4,048 \text{ MPa}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,5}{5,196 \cdot 10^{-2}} = 67,36$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,5}{4,619 \cdot 10^{-2}} = 75,78$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{7,776 \cdot 10^{-5}}{0,0288}} = 5,196 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{36,144 \cdot 10^{-5}}{0,0288}} = 4,619 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} =$$

$$\left( \frac{0,125 \cdot 10^6}{0,12 \cdot 14,54 \cdot 10^6} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{9,2 \cdot 10^6}{16,62 \cdot 10^6} + \frac{7,3 \cdot 10^6}{16,62 \cdot 10^6} =$$

$$= 0,90 \leq 1 \quad \dots \text{vyhoví}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} =$$

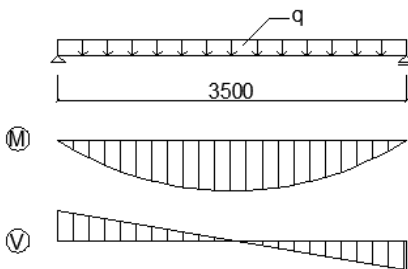
$$\left( \frac{0,125 \cdot 10^6}{0,15 \cdot 14,54 \cdot 10^6} \right)^2 + \frac{9,2 \cdot 10^6}{16,62 \cdot 10^6} + 0,7 \cdot \frac{7,3 \cdot 10^6}{16,62 \cdot 10^6} = 0,92 \leq 1$$

... vyhoví

$k_m = 0,7$  tvarový součinitel pro obdélníkový průřez

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní  
Výběr : Vše  
Třída : Všechny MSU  
Průřez : vaznice - OBDEL (180; 180)

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]
B988	CO1/12	0,000	-2,60	-1,35	4,03
B981	CO1/12	0,000	3,07	-3,53	5,09
B588	CO1/15	3,500	0,37	-6,41	-5,31
B578	CO1/15	0,000	1,22	6,41	5,90
B908	CO1/12	3,500	0,10	3,00	-8,98
B711	CO1/1	0,000	0,10	3,00	9,10



#### 4.1.3.3 Posouzení vaznice na smyk

$$V_{y,d} = 6,41 \text{ kNm}; V_{z,d} = 9,10 \text{ kNm}$$

$$\tau_{y,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,y}}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6,41 \cdot 10^3}{0,0288} = 0,334 \text{ MPa}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{9,10 \cdot 10^3}{0,0288} = 0,474 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{y,d}^2 + \tau_{z,d}^2} = \sqrt{0,334^2 + 0,474^2} = 0,58 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = 0,58 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 2,77 \text{ MPa} \quad \dots \text{vyhoví na smyk}$$

#### 4.1.3.4 Posouzení MSP

##### 4.1.3.4.1 Průhyb vaznice

$$u_z = 5,4 \text{ mm}$$

$$u_y = 7,5 \text{ mm}$$

viz SCIA

Průřez : vaznice - OBDEL (180; 180)

Stav - kombinace	Prvek	dx [m]	uy [mm]	Rel uy [1/ox]	uz [mm]	Rel uz [1/ox]
CO2/2	B578	1,750	-7,5	1/469	-5,4	1/648
CO2/3	B1041	1,750	7,5	1/469	-5,4	1/648
CO2/2	B578	1,750	-7,5	1/469	-5,4	1/648
CO2/4	B711	1,750	-3,5	1/1003	-8,4	1/418
CO2/5	B928	1,750	0,9	1/3791	1,4	1/2414

$$u = \sqrt{u_z^2 + u_y^2} = \sqrt{5,4^2 + 7,5^2} = 9,25 \text{ mm}$$

$$u_{net} = 9,25 \text{ mm} \leq u_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{3500}{300} = 11,67 \text{ mm}$$

... vyhoví na průhyb

## 4.2 Plnostěnný oblouk

Třída provozu 1

Rozpětí  $L = 40 \text{ m}$

### 4.2.1 Materiál

Dřevo lepené lamelové GL24h - Tloušťka lamel 50mm

Třída pevnosti		GL24h
pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24 Mpa
pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$	16,5 Mpa
	$f_{t,90,k}$	0,5 Mpa
pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$	24 Mpa
	$f_{c,90,k}$	2,7 Mpa
pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	2,7 Mpa
modul pružnosti v tahu, tlaku	$E_{0,mean}$	11,6 Gpa
	$E_{0,05}$	8,8 Gpa
	$E_{90, mean}$	0,39 Gpa
modul pružnosti ve smyku	$G_{mean}$	0,72 Gpa
hustota	$\rho_k$	380 kg/m <sup>3</sup>

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,y,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,25} = 17,28 \text{ MPa}$$

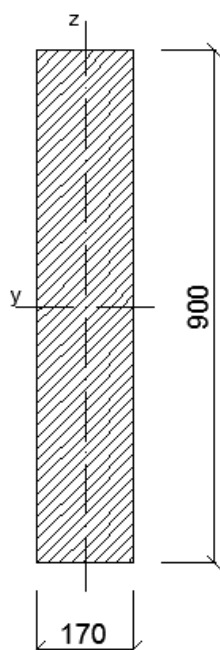
$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{16,5}{1,25} = 11,88 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{0,5}{1,25} = 0,36 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,944 \text{ MPa}$$

$k_{mod} = 0,9$  Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zátěže

$\gamma_M = 1,25$  Dílčí součinitel vlastnosti materiálu - lepené lamelové dřevo



#### **4.2.2 Průřezové charakteristiky**

$$b = 0,17 \text{ m} ; h = 0,9 \text{ m}$$

$$A = b \cdot h = 0,17 \cdot 0,9 = 0,153 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,17 \cdot 0,9^3 = 1,033 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 0,17^3 \cdot 0,9 = 3,685 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$w_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,17 \cdot 0,9^2 = 2,295 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$w_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h = \frac{1}{6} \cdot 0,17^2 \cdot 0,9 = 4,335 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

#### **4.2.3 Posouzení plnostěnného oblouku**

##### **4.2.3.1 Zatížení - Stálé**

Viz kapitola 3.1 Zatížení - Stálé

##### **4.2.3.2 Zatížení - Proměnné**

Viz kapitola 3.2 Zatížení - Proměnné

##### **4.2.3.3 Zatěžovací stavy**

Viz kapitola 3.3 Zatěžovací stavy

Viz příloha Scia Engineer

ZS1 - Vlastní tíha

ZS2 - Ostatní stálé

ZS3 - Sníh - rovnoměrný

ZS4a - Sníh - navátý pravý

ZS4b - Sníh - navátý levý

ZS5a - Sníh - sněžníky levé

ZS5b - Sníh - sněžníky pravé

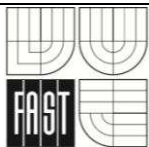
ZS6 - Vítr - příčný

ZS7 - Vítr - podélný

##### **4.2.3.4 Kombinace zatěžovacích stavů**

Viz kapitola 3.4 Kombinace

Viz příloha Scia Engineer



Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní  
Výběr : Vše  
Třída : Všechny MSU  
Průřez : nosník - OBDEL (170; 900)

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]
B70	CO1/5	1,440	-318,23	33,34	0,29
B36	CO1/15	1,440	115,42	32,53	46,72
B245	CO1/4	1,440	35,09	-60,92	-0,26
B385	CO1/6	0,000	-238,65	48,58	-69,48
B355	CO1/16	1,440	-209,46	-7,71	-192,59
B238	CO1/4	1,440	23,56	10,16	316,37

#### 4.2.3.5 Vnitřní síly v plnostěnném oblouku

Viz příloha Scia Engineer

$$N_{Ed,min} = -318,23 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,max} = 115,42 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,min} = -60,92 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} = 48,58 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,min} = -192,59 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = 316,37 \text{ kNm}$$

#### 4.2.3.6 Posouzení MSÚ

##### 4.2.3.6.1 Posouzení oblouku na kombinaci ohybu a osového tlaku

$$M_{Ed} = 316,37 \text{ kNm}; N_{Ed,odp} = 23,56 \text{ kN}$$

$$L_{cr,z} = 1,44 \text{ m} - \text{vzpěru z roviny je bráněno vaznicemi}$$

$$L = 40 \text{ m} - \text{rozpětí oblouku}$$

$$\sigma_{m,ap,d} = k_l \cdot \frac{M_{Ed}}{W_y} = 1,017 \cdot \frac{316,37 \cdot 10^3}{2,295 \cdot 10^{-2}} = 14,02 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} k_l &= k_1 + k_2 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \cdot \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \cdot \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = \\ &= 1 + 0,35 \cdot \left( \frac{0,9}{21,898} \right) + 0,6 \cdot \left( \frac{0,9}{21,898} \right)^2 + 0 \cdot \left( \frac{0,9}{21,898} \right)^3 = \\ &= 1,017 \end{aligned}$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan(\alpha) + 5,4 \cdot \tan^2(\alpha) = 1$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan(\alpha) = 0,35$$

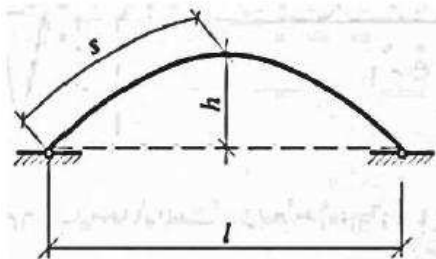
$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan(\alpha) - 7,8 \cdot \tan^2(\alpha) = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \tan(\alpha) = 0$$

$$r = 21,898 \text{ m}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,odp}}{A} = \frac{23,56 \cdot 10^3}{0,153} = 0,154 \text{ MPa}$$



Prostorový vzpěr

Vybočení v rovině oblouku

$$L_y = 25,212 \text{ m} \rightarrow \text{délka poloviny střednice vazníku}$$

$\beta = 1,25$  ... součinitel vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L_y = 1,25 \cdot 25,212 = 31,515 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{31,515}{2,598 \cdot 10^{-1}} = 121,30$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,033 \cdot 10^{-2}}{0,153}} = 2,598 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

Vybočení z roviny oblouku (bráněno příčným ztužidlem pomocí vaznic)

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1,44}{4,908 \cdot 10^{-2}} = 29,34$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{3,685 \cdot 10^{-4}}{0,153}} = 4,908 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Vybočení v rovině oblouku je rozhodující:  $\lambda_y = 121,30$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,63 + \sqrt{2,63^2 - 2,02^2}} = 0,23$$

$$k_y = 0,5 \cdot \{1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2\} =$$

$$= 0,5 \cdot \{1 + 0,1 \cdot (2,02 - 0,3) + 2,02^2\} = 2,63$$

$\beta_c = 0,1$  součinitel imperfekce pro lepené lamelové dřevo

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{5,903 \cdot 10^6}} = 2,02$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8,8 \cdot 10^9}{121,30^2} = 5,903 \text{ MPa}$$

$$k_r = 1 \dots \text{pro } \frac{r_{in}}{t} = \frac{21,45}{0,05} = 429 \geq 240$$

$$r_{in} = r - \frac{h_{ap}}{2} = 21,898 - \frac{0,9}{2} = 21,45 \text{ m}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,ap,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} = \left(\frac{0,154}{0,23 \cdot 17,28}\right)^2 + \frac{14,02}{1 \cdot 17,28} =$$

$$= 0,81 \leq 1 \dots \text{vyhoví}$$

#### **4.2.3.6.2 Posouzení oblouku na tah kolmo k vláknům**

$$M_{Ed} = 316,37 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{Ed}}{w_y} = 0,0103 \cdot \frac{316,37 \cdot 10^3}{2,295 \cdot 10^{-2}} = 0,14 \text{ MPa}$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \cdot \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 =$$

$$= 0 + 0,25 \cdot \left( \frac{0,9}{21,898} \right) + 0 \cdot \left( \frac{0,9}{21,898} \right)^2 = 0,0103$$

$$k_5 = 0,2 \cdot \tan(\alpha) = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan(\alpha) + 2,6 \cdot \tan^2(\alpha) = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \tan(\alpha) - 4 \cdot \tan^2(\alpha) = 0$$

$$r = 21,898 \text{ m}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,14 \text{ MPa} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} =$$

$$= 1,4 \cdot 0,29 \cdot 0,36 = 0,146 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví}$$

$$k_{dis} = 1,4$$

$$k_{vol} = \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0,2} = \left( \frac{0,01}{5,26} \right)^{0,2} = 0,29$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap}) =$$

$$= \frac{45 \cdot \pi}{180} \cdot 0,17 \cdot (0,9^2 + 2 \cdot 21,45 \cdot 0,9) = 5,26 \text{ m}^3$$

#### **4.2.3.6.3 Posouzení oblouku na smyk**

$$V_{Ed} = 60,92 \text{ kN}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{60,92 \cdot 10^3}{0,153} = 0,597 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 0,597 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 1,944 \text{ MPa} \dots \text{vyhoví na smyk}$$



#### **4.2.3.6.4 Posouzení oblouku na klopení**

Klopení v horním pásu oblouku je bráněno vaznicemi a příčným ztužidlem.

$$l_{ef} = 1,44 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{157,44 \cdot 10^6}} = 0,15$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,17^2}{0,9 \cdot 1,44} \cdot 8,8 \cdot 10^9 =$$

$$= 157,44 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,15 \leq 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1 \rightarrow \text{nenastane klopení}$$

Klopení v dolním pásu oblouku - návrh lana o průměru 16 mm ob jednu vaznici.

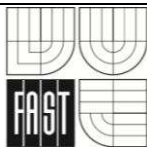
$$l_{ef} = 2,88 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{157,44 \cdot 10^6}} = 0,56$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,17^2}{0,9 \cdot 2,88} \cdot 8,8 \cdot 10^9 =$$

$$= 76,53 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,56 \leq 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1 \rightarrow \text{nenastane klopení}$$



#### 4.2.3.7 Posouzení MSP

##### 4.2.3.7.1 Průhyb od stálého zatížení

Viz SCIA ENGINEER

$$u_1 = 36,1 \text{ mm}$$

$$u_{1,fin} = u_1 \cdot (1 + k_{def}) = 36,1 \cdot (1 + 0,6) = 57,8 \text{ mm}$$

$$k_{def} = 0,6 \quad \text{Součinitel vlivu dotvarování od stálých zatížení}$$

##### 4.2.3.7.2 Průhyb od krátkodobého zatížení (sníh)

Viz SCIA ENGINEER

$$u_2 = 66,5 \text{ mm}$$

$$u_{2,fin} = u_2 \cdot (1 + k_{def}) = 66,5 \cdot (1 + 0,0) = 66,5 \text{ mm}$$

$$k_{def} = 0,0 \quad \text{Součinitel vlivu dotvarování od krátkodobých zatížení}$$

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní  
Výběr : Vše  
Třída : Všechny MSU  
Průřez : nosník - OBDEL (170; 900)

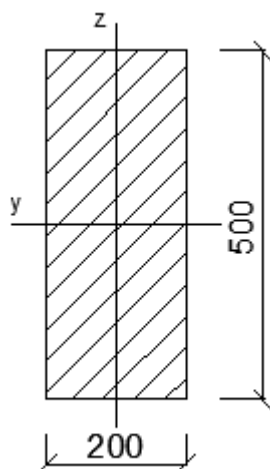
stav	Prvek	dx [mm]	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]
CO1/4	B232	1,440	-72,1	73,7	-23,1
CO1/18	B1083	0,000	60,7	-47,5	16,9
CO1/4	B1071	0,720	1,1	-96,5	-0,1
CO1/7	B19	0,000	-0,6	95,4	-0,2
CO1/4	B239	0,000	-32,8	24,3	-124,3
CO1/7	B1083	0,720	26,0	-95,8	110,1

##### 4.2.3.7.3 Celkový průhyb oblouku

$$u_{1,net} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 49,4 + 56,6 = 124,3 \text{ mm}$$

$$u_{1,net} = 124,3 \text{ mm} \leq \frac{L}{300} = \frac{40000}{300} = 133 \text{ mm}$$

... vyhoví



## 4.3 SLOUPEK

Navržena konstrukce pro skleněnou fasádu ze sloupků a paždíků.

### 4.3.1 Zatížení

#### 4.3.1.1 Vítr

Podélný vítr viz. kapitola 3.2 Zatížení - proměnné

$$w_D = 0,567 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_E = -0,268 \text{ kNm}^{-2}$$

### 4.3.2 Materiál

Dřevo lepené lamelové GL24h - Tloušťka lamel 50mm

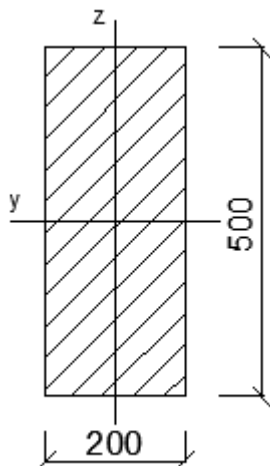
Třída pevnosti		GL24h
pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24 Mpa
pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$	16,5 Mpa
	$f_{t,90,k}$	0,5 Mpa
pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$	24 Mpa
	$f_{c,90,k}$	2,7 Mpa
pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	2,7 Mpa
modul pružnosti v tahu, tlaku	$E_{0,mean}$	11,6 Gpa
	$E_{0,05}$	8,8 Gpa
	$E_{90, mean}$	0,39 Gpa
modul pružnosti ve smyku	$G_{mean}$	0,72 Gpa
hustota	$\rho_k$	380 kg/m <sup>3</sup>

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,y,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,25} = 17,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,25} = 17,28 \text{ MPa}$$

$k_{mod} = 0,9$  Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zátěže

$\gamma_M = 1,25$  Dílčí součinitel vlastnosti materiálu - lepené lamelové dřevo



### 4.3.3 Průřezové charakteristiky

$$b = 0,2 \text{ m} ; h = 0,5 \text{ m}$$

$$A = b \cdot h = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,2 \cdot 0,5^3 = 2,083 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 0,2^3 \cdot 0,5 = 3,333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$w_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,2 \cdot 0,5^2 = 8,333 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$w_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h = \frac{1}{6} \cdot 0,2^2 \cdot 0,5 = 3,333 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

### 4.3.4 Posouzení MSÚ

#### 4.3.4.1 Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Třída : Všechny MSÚ

Průřez : sloupek - OBDEL (500; 200)

Prvek	Slév	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B1635	CO1/4	0,000	-45,62	-1,68	-0,25	0,00	0,00	0,00
B1634	CO1/5	3,749	34,14	-2,29	0,42	0,00	0,00	0,00
B1622	CO1/6	11,500	-8,64	-20,20	0,32	0,00	-0,38	23,93
B1622	CO1/7	0,000	-16,57	19,30	0,02	0,00	0,00	0,00
B1626	CO1/8	10,014	-9,51	12,83	-1,04	0,00	1,03	-12,75
B1627	CO1/9	10,014	-9,32	13,01	1,04	0,00	-1,04	-12,93
B1627	CO1/7	8,014	-10,56	-10,74	0,28	0,00	-0,03	38,02
B1626	CO1/10	8,014	-5,25	-10,50	-0,32	0,00	0,10	37,31
B1627	CO1/9	10,014	-10,50	8,40	-0,60	0,00	-1,04	-12,94
B1626	CO1/8	10,014	-10,68	8,21	0,60	0,00	1,03	-12,76
B1622	CO1/8	6,000	-12,51	-3,06	0,00	0,00	-0,01	-52,00
B1622	CO1/11	6,000	-17,13	3,92	0,00	0,00	0,06	66,48

$$M_{Ed} = 66,48 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed, opd} = -17,13 \text{ kNm}$$

(síly viz výpočet SCIA)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{w_y} = \frac{66,48 \cdot 10^3}{8,333 \cdot 10^{-3}} = 7,98 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{17,13 \cdot 10^3}{0,1} = 0,171 \text{ MPa}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,63 + \sqrt{1,63^2 - 1,46^2}} = 0,43$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,58^2}} = 0,96$$

$$k_y = 0,5 \cdot \{1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2\} = 0,5 \cdot \{1 + 0,1 \cdot (1,46 - 0,3) + 1,46^2\} = 1,63$$

$$k_z = 0,5 \cdot \{1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2\} = 0,5 \cdot \{1 + 0,1 \cdot (0,58 - 0,3) + 0,58^2\} = 0,68$$

$$\beta_c = 0,1 \quad \text{součinitel imperfekce pro lepené lamelové dřevo}$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{87,88}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{8,8 \cdot 10^9}} = 1,46$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{34,64}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{8,8 \cdot 10^9}} = 0,58$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{12,684}{1,443 \cdot 10^{-1}} = 87,88$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2}{5,774 \cdot 10^{-2}} = 34,64$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,083 \cdot 10^{-3}}{0,1}} = 1,443 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{3,333 \cdot 10^{-4}}{0,1}} = 5,774 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} &= \\ &= \left( \frac{0,171 \cdot 10^6}{0,96 \cdot 17,28 \cdot 10^6} \right) + 0,7 \cdot \frac{7,98 \cdot 10^6}{17,28 \cdot 10^6} = \\ &= 0,33 \leq 1 \quad \dots \text{vyhoví} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} &= \left( \frac{0,171 \cdot 10^6}{0,43 \cdot 17,28 \cdot 10^6} \right) + \frac{7,98 \cdot 10^6}{17,28 \cdot 10^6} = \\ &= 0,48 \leq 1 \end{aligned}$$

... vyhoví

$k_m = 0,7$  tvarový součinitel pro obdélníkový průřez

#### 4.3.4.2 Ověření příčné a torzní stability

$$l = 12,684 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{54,12 \cdot 10^6}} = 0,44$$

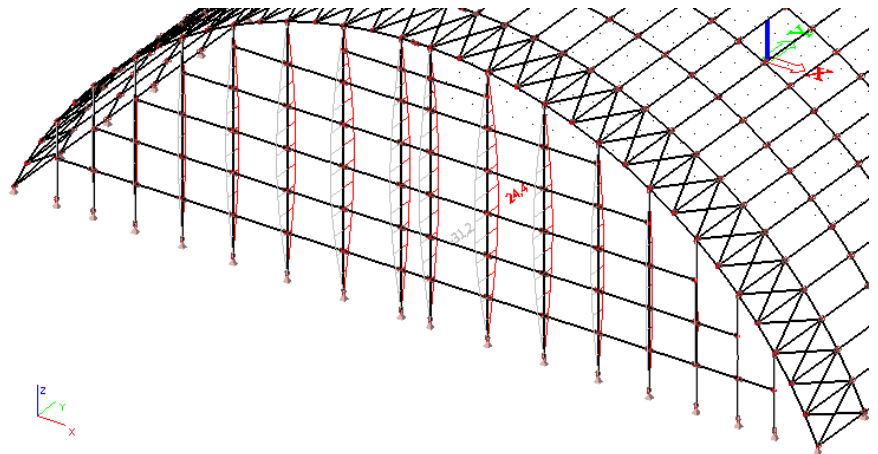
$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,2^2}{0,4 \cdot 12,684} \cdot 8,8 \cdot 10^9 = 54,12 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,44 \leq 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1 \rightarrow \text{nenastane klopení}$$

#### 4.3.5 Posouzení MSP

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : H  
Výběr : Vše  
Kombinace : CO2  
Průřez : sloupek - OBDEL (500; 200)

stav - kombinace	Prvek	dx [m]	uy [mm]
CO2/1	B1622	6,000	-31,2
CO2/2	B1622	6,000	24,4



Průhyb sloupku jako celku L/300

$$u_{net} = 31,2 \text{ mm} \leq u_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{12684}{300} = 42,28 \text{ mm}$$

... vyhoví na průhyb

## 4.4 Paždík

### 4.4.1 Materiál

Dřevo lepené lamelové GL24h - Tloušťka lamel 50mm

Třída pevnosti		GL24h
pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24 Mpa
pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$	16,5 Mpa
	$f_{t,90,k}$	0,5 Mpa
pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$	24 Mpa
	$f_{c,90,k}$	2,7 Mpa
pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	2,7 Mpa
modul pružnosti v tahu, tlaku	$E_{0,mean}$	11,6 Gpa
	$E_{0,05}$	8,8 Gpa
	$E_{90, mean}$	0,39 Gpa
modul pružnosti ve smyku	$G_{mean}$	0,72 Gpa
hustota	$\rho_k$	380 kg/m <sup>3</sup>

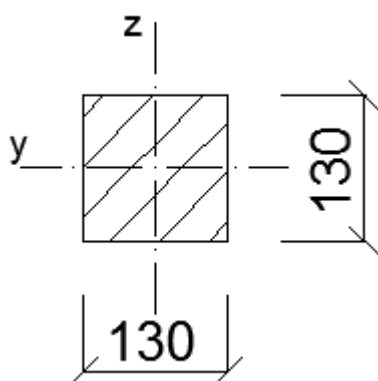
$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,25} = 17,28 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{16,5}{1,25} = 11,88 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ MPa}$$

$k_{mod} = 0,9$  Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zátěže

$\gamma_M = 1,25$  Dílčí součinitel vlastnosti materiálu - lepené lamelové dřevo



### 4.4.2 Průřezové charakteristiky

$$b = 0,13 \text{ m} ; h = 0,13 \text{ m}$$

$$A = b \cdot h = 0,13 \cdot 0,13 = 0,0169 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,13 \cdot 0,13^3 = 2,38 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 0,13^3 \cdot 0,13 = 2,38 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$w_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,13 \cdot 0,13^2 = 3,662 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$w_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h = \frac{1}{6} \cdot 0,13^2 \cdot 0,13 = 3,662 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

#### 4.4.3 Posouzení MSÚ

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

Průřez : pažník - OBDEL (130; 130)

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
*Studentoid verze*	*Studentoid verze*	*Studentoid verze*	*Studentoid verze*	*Studentoid verze*	*Studentoid verze*	*Studentoid verze*	*Studentoid verze*	*Studentoid verze*
B1614	CO1/5	0,000	-1,77	-2,51	1,05	0,00	0,00	0,00
B1614	CO1/6	2,103	1,55	-1,81	-0,77	0,00	0,81	2,05
B1588	CO1/7	0,000	0,59	-6,79	1,83	-0,02	0,00	0,00
B1581	CO1/8	0,000	0,51	10,02	2,78	-0,02	0,00	0,00
B1619	CO1/8	1,816	0,17	0,00	-2,78	0,00	0,00	0,00
B1581	CO1/8	0,000	0,17	0,00	2,78	0,00	0,00	0,00
B1564	CO1/9	0,000	0,03	4,13	1,03	-0,04	0,00	0,00
B1572	CO1/10	0,000	0,14	4,20	1,03	0,05	0,00	0,00
B1581	CO1/11	0,000	-0,80	-8,01	2,05	0,02	0,00	0,00
B1587	CO1/8	1,433	-0,04	0,00	0,00	0,00	1,13	0,00
B1588	CO1/12	1,047	0,62	-0,72	0,07	-0,02	0,88	-3,91
B1589	CO1/12	1,433	0,11	0,00	0,00	-0,01	1,13	3,33

##### 4.4.3.1 Posouzení na kombinaci tahu a ohybu

$$M_{y,d} = 0,88 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 3,91 \text{ kNm}$$

$$N = 1,55 \text{ kNm}$$

(momenty viz výpočet SCIA)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{w_y} = \frac{0,88 \cdot 10^3}{3,662 \cdot 10^{-4}} = 2,403 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{w_z} = \frac{3,91 \cdot 10^3}{3,662 \cdot 10^{-4}} = 10,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{1,55 \cdot 10^3}{0,0169} = 0,092 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= \\ &= \frac{0,092 \cdot 10^6}{11,88 \cdot 10^6} + 0,7 \cdot \frac{2,403 \cdot 10^6}{17,28 \cdot 10^6} + \frac{10,68 \cdot 10^6}{17,28 \cdot 10^6} = \\ &= 0,72 \leq 1 \quad \dots \text{vyhoví} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= \\ &= \frac{0,092 \cdot 10^6}{11,88 \cdot 10^6} + \frac{2,403 \cdot 10^6}{17,28 \cdot 10^6} + 0,7 \cdot \frac{10,68 \cdot 10^6}{17,28 \cdot 10^6} = \\ &= 0,58 \leq 1 \quad \dots \text{vyhoví} \end{aligned}$$



#### 4.4.3.2 Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu

$$M_{y,d} = 0,88 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 3,91 \text{ kNm}$$

$$N = 1,77 \text{ kNm}$$

(momenty viz výpočet SCIA)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{w_y} = \frac{0,88 \cdot 10^3}{3,662 \cdot 10^{-4}} = 2,403 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{w_z} = \frac{3,91 \cdot 10^3}{3,662 \cdot 10^{-4}} = 10,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{1,55 \cdot 10^3}{0,0169} = 0,092 \text{ MPa}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 + \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,09 + \sqrt{1,09^2 + 1,05^2}} = 0,72$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 + \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,09 + \sqrt{1,09^2 + 1,05^2}} = 0,72$$

$$k_y = 0,5 \cdot \{1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2\} =$$

$$= 0,5 \cdot \{1 + 0,1 \cdot (1,05 - 0,3) + 1,05^2\} = 1,09$$

$$k_z = 0,5 \cdot \{1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2\} =$$

$$= 0,5 \cdot \{1 + 0,2 \cdot (1,05 - 0,3) + 1,05^2\} = 1,09$$

$\beta_c = 0,1$  součinitel imperfekce pro lepené lamelové dřevo

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{76,34}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{8,8 \cdot 10^9}} = 1,05$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{76,34}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{8,8 \cdot 10^9}} = 1,05$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,865}{3,75 \cdot 10^{-2}} = 76,34$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,865}{3,75 \cdot 10^{-2}} = 76,34$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,38 \cdot 10^{-5}}{0,0169}} = 3,75 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2,38 \cdot 10^{-5}}{0,0169}} = 3,75 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= \\ = \left( \frac{0,092 \cdot 10^6}{0,72 \cdot 17,27 \cdot 10^6} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{2,403 \cdot 10^6}{17,27 \cdot 10^6} + \frac{10,68 \cdot 10^6}{17,27 \cdot 10^6} &= \\ = 0,72 \leq 1 \quad \dots \text{vyhoví} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &= \\ = \left( \frac{0,092 \cdot 10^6}{0,72 \cdot 17,27 \cdot 10^6} \right)^2 + \frac{2,403 \cdot 10^6}{17,27 \cdot 10^6} + 0,7 \cdot \frac{10,68 \cdot 10^6}{17,27 \cdot 10^6} &= \\ = 0,57 \leq 1 \quad \dots \text{vyhoví} \end{aligned}$$

$k_m = 0,7$  tvarový součinitel pro obdélníkový průřez

#### 4.4.3.2.1 Posouzení paždíku na smyk

$$V_{y,d} = 10,02 \text{ kNm}; V_{z,d} = 2,76 \text{ kNm}$$

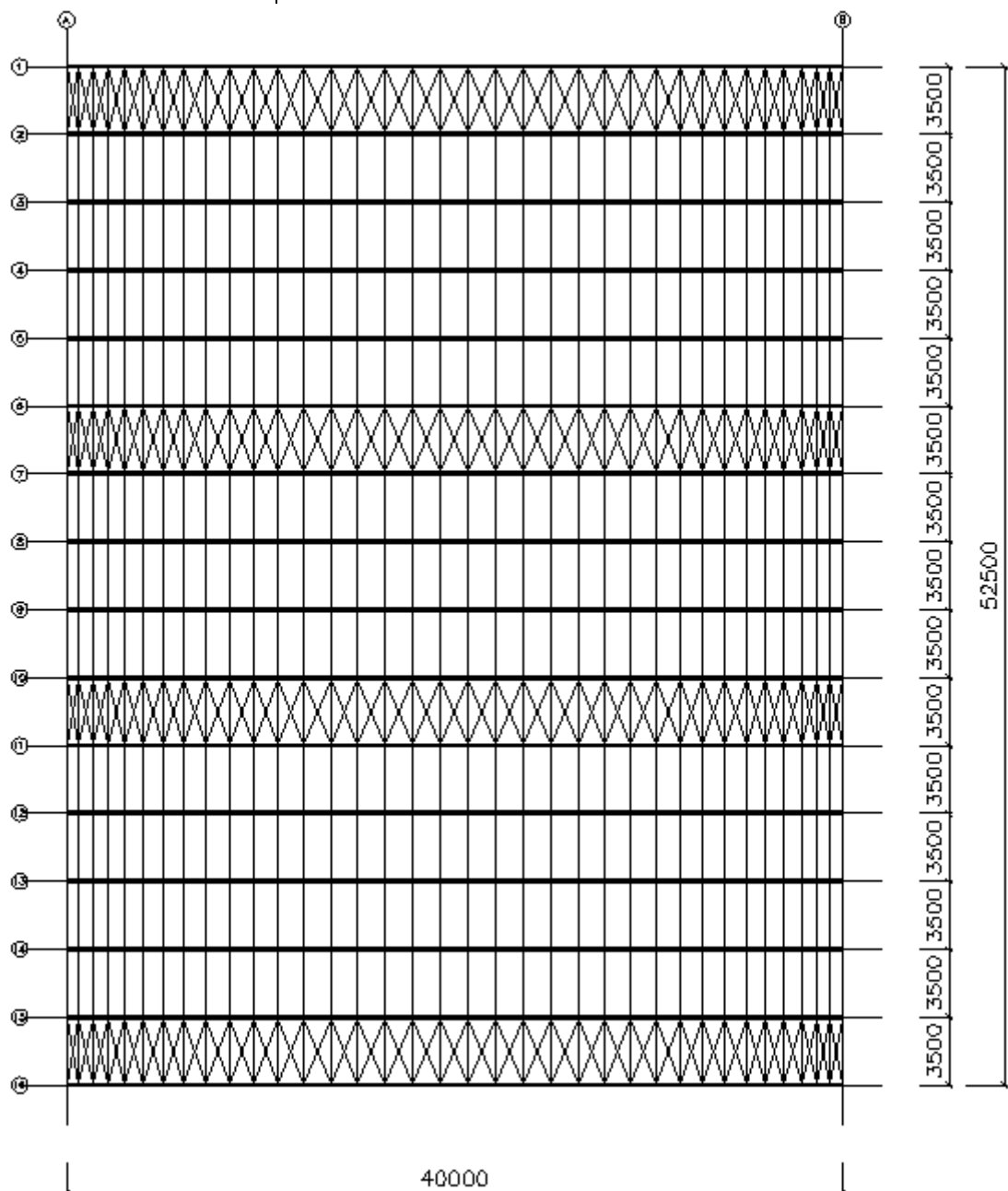
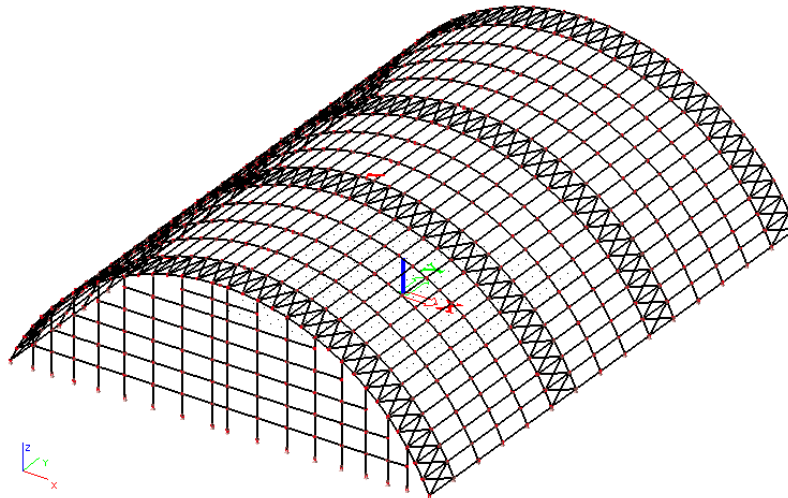
$$\tau_{y,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,y}}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{10,02 \cdot 10^3}{0,0169} = 0,889 \text{ MPa}$$

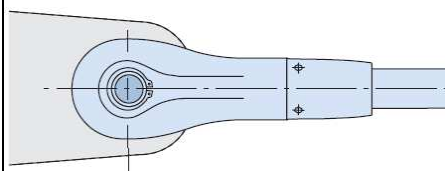
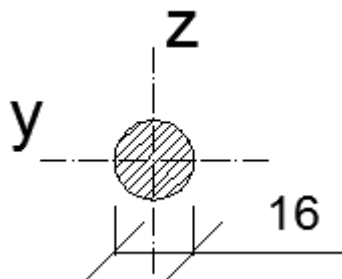
$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2,76 \cdot 10^3}{0,0169} = 0,247 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{y,d}^2 + \tau_{z,d}^2} = \sqrt{0,889^2 + 0,247^2} = 0,923 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = 0,923 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa} \quad \dots \text{vyhoví na smyk}$$

## 4.5 Ztužidla





Neúspěšná kombinace : NC1

Průřez : ztužidlo1 - RD12

Prvek	Slav	dx [m]	N [kN]
B1192	NC1	0,000	22,89
B1192	NC1	3,785	22,90
B1192	NC1	1,892	22,90
B1192	NC1	1,892	22,90

#### 4.5.1 Zatížení od větru

Viz kapitola 3.2.2 Zatížení větrem

#### 4.5.2 Parametry diagonály

materiál diagonály	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Průměr diagonály	$d = 16 \text{ mm}$
Plocha diagonály	$A = 201 \text{ mm}^2$
Plocha oslabená závitem	$A_s = 157 \text{ mm}^2$

#### 4.5.3 Posouzení MSÚ

Navržené ztužidla - kloubově připojené diagonály k plnostěnným nosníkům našroubovanými litinovými hlavicemi od firmy Halfen - systém táhel DETAN-S460.

Udávaná hodnota únosnosti hlavice a čepu dle výrobce

$$N_{Rd} = 70,5 \text{ kN}$$

#### 4.5.3.1 Posouzení ztužidla

Návrh diagonály - působení pouze na tah

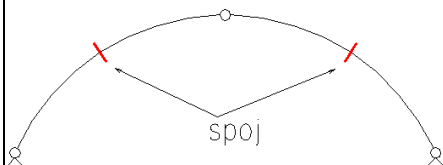
Viz příloha Scia Engineer

$$F_{Ed} = 22,90 \text{ kN}$$

##### 4.5.3.1.1 Posouzení na tah

$$F_{Rd} = \frac{A_s \cdot f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{157 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 36,90 \text{ kN}$$

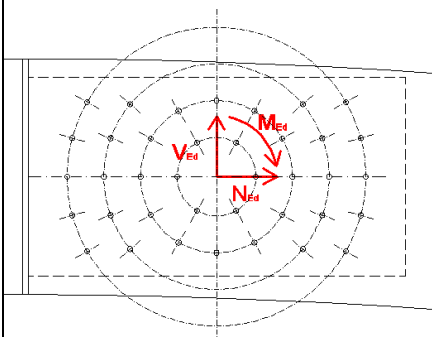
$$F_{Rd} = 36,90 \text{ kN} \geq F_{Ed} = 22,90 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$



#### Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém: Globální, Systém: Hlavní  
Výběr: B359, B237  
Třída: Všechny MSU  
Průřez: nosník - OBDEL (170; 900)

Prvek	Skup	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	Mz [kNm]
B237	CO1/15	1,440	-186,68	-20,72	-5,31
B237	CO1/13	0,000	43,04	21,15	211,60
B359	CO1/14	0,000	-175,83	21,71	-23,21
B359	CO1/15	0,000	-171,80	13,80	-169,13
B237	CO1/7	1,440	19,02	20,45	301,42



## 5 SPOJE

### 5.1 Montážní spoj

Návrh montážního spoje vyplývá z důvodu přepravy oblouku. Spoj je navržen ve čtvrtinách oblouku. Vzhledem k přepravě nepřesahuje výsledná délka jedné části oblouku 15 m.

Návrh proveden z kolíků a svorníků a vsazeného plechu do oblouku. Každý čtvrtý prvek by měl být svorník.

#### 5.1.1 Vnitřní síly v místě spoje

Viz příloha Scia Engineer

$$N_{Ed,min} = -186,68 \text{ kN}; \quad N_{Ed,max} = 43,04 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,min} = -20,72 \text{ kN}; \quad V_{Ed,max} = 27,71 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,min} = -169,13 \text{ kNm}; \quad M_{Ed,max} = 301,42 \text{ kNm}$$

#### 5.1.2 Vnitřní síly působící na spojovací prvky

Tlak je přenesen kontaktem

$$N_{Ed} = 43,04 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 27,71 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 301,42 \text{ kNm}$$

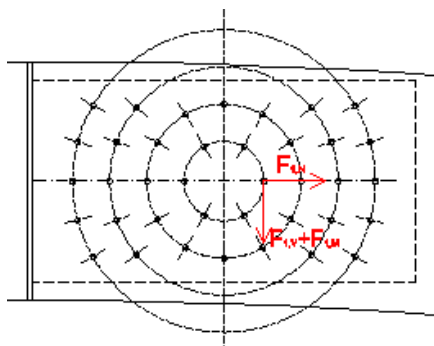
#### 5.1.3 Parametry kolíků a svorníků

materiál čepu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Průměr	$d = 20 \text{ mm}$

#### 5.1.4 Parametry vsazeného plechu

materiál plechu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Tloušťka plechu	$t = 20 \text{ mm}$
Velikost otvoru	$d_0 = 20 \text{ mm}$

$$r_4 = 150 \text{ mm}; n_4 = 6$$



## 5.1.6 Posouzení MSÚ

### 5.1.6.1 Síla působící na jeden svorník

$$N_{Ed} = 43,04 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 27,71 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 301,42 \text{ kNm}$$

$$F_{1,N} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{43,04}{36} = 1,20 \text{ kN}$$

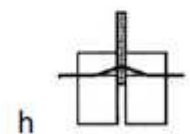
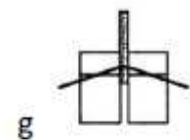
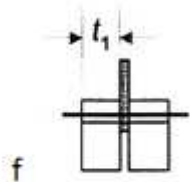
$$F_{1,V} = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{27,71}{36} = 0,77 \text{ kN}$$

$$F_{1,M} = \frac{M_{Ed}}{\sum r \cdot n} = \frac{43,04}{0,57 \cdot 8 + 0,43 \cdot 10 + 0,29 \cdot 12 + 0,15 \cdot 6} = 22,77 \text{ kN}$$

Výslednice

$$F_{1,Ed} = \sqrt{F_{1,N}^2 + (F_{1,V} + F_{1,M})^2} = \sqrt{1,2^2 + (0,77 + 22,77)^2} = 23,57 \text{ kN}$$

### 5.1.6.2 Únosnost jednoho spojovacího prvku na jeden stříh



$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,f} \\ F_{v,Rk,g} \\ F_{v,Rk,h} \end{cases} = \min \begin{cases} 31,16 \cdot 10^3 \\ 17,58 \cdot 10^3 \\ 23,94 \cdot 10^3 \end{cases} = 17,58 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,f} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d = 20,77 \cdot 75 \cdot 20 = 31,16 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,g} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 20,77 \cdot 75 \cdot 20 \cdot \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 260,67 \cdot 10^3}{20,77 \cdot 20 \cdot 75^3}} - 1 \right] + \frac{0}{4} = 17,58 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,h} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 2,3 \cdot \sqrt{260,67 \cdot 10^3 \cdot 20,77 \cdot 20} + \frac{0}{4} = 23,94 \text{ kN}$$



Pevnost v otláčení

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{24,93 \cdot 10^6}{1,2 \cdot \sin^2 90^\circ \cdot \cos^2 90^\circ} = 20,77 \text{ MPa}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 380 \\ = 24,93 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 0,9 + 0,015 \cdot d = 0,9 + 0,015 \cdot 20 = 1,2$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 20^{2,6} = 260,67 \text{ kN/mm}$$

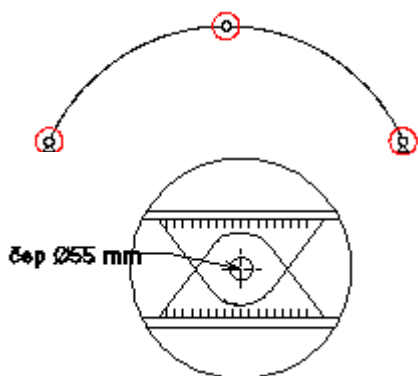
$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{17,58}{1,3} = 12,17 \text{ kN}$$

#### **5.1.6.3 Posouzení kolíkového spoje**

$$F_{1,Ed} = 23,57 \text{ kN} \leq 2 \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 12,17 = 24,34 \text{ kN}$$

... vyhoví



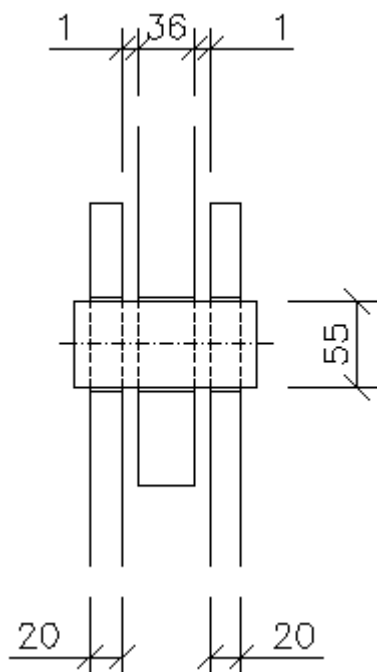
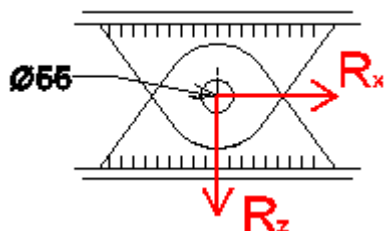


Lineární výpočet, Extrém: Globální  
Výběr: Vše  
Kombinace: CO1

Podpora	Slav	R <sub>x</sub> [kN]	R <sub>z</sub> [kN]
Studentův vzev	Studentův vzev	Studentův vzev	Studentův vzev
Sn18/N37	CO1/31	-168,09	277,58
Sn13/N72	CO1/12	168,34	278,41
Sn18/N37	CO1/13	80,83	-92,36

Třída: Všechny MSÚ  
Průřez: nosník - OBDEL (170: 900)

Prvek	Slav	dx [m]	N [kN]	V <sub>z</sub> [kN]
Studentův vzev	Studentův vzev	Studentův vzev	Studentův vzev	Studentův vzev
B1082	CO1/16	0,000	-167,42	-0,01
B1099	CO1/13	0,000	61,01	-4,90
B1084	CO1/20	0,720	-79,13	-17,27
B1083	CO1/14	0,000	-132,52	12,73



## 5.2 Kotvení a vrcholový spoj oblouků - čepy

Čep v podpoře a čep ve vrcholu bude navržen stejně.

### 5.2.1 Reakce do podpor

Viz. příloha Scia Engineer

$$R_x = -168,09 \text{ kN}; \quad R_z = 277,58 \text{ kN}$$

$$R_x = 168,34 \text{ kN}; \quad R_z = 278,41 \text{ kN}$$

$$R_x = 80,83 \text{ kN}; \quad R_z = -92,36 \text{ kN}$$

### 5.2.2 Vnitřní síly ve vrcholovém kloubu

Viz. příloha Scia Engineer

$$N = -167,42 \text{ kN}; \quad V = -0,01 \text{ kN}$$

$$N = 61,01 \text{ kN}; \quad V = -4,90 \text{ kN}$$

$$N = -79,13 \text{ kN}; \quad V = -17,27 \text{ kN}$$

$$N = -132,52 \text{ kN}; \quad V = 12,73 \text{ kN}$$

### 5.2.3 Posouzení MSÚ

#### 5.2.3.1 Posouzení čepu

##### 5.2.3.1.1 Maximální výslednice na čep:

Rozhodující kombinace

$$R_x = 168,34 \text{ kN}; \quad R_z = 278,41 \text{ kN}$$

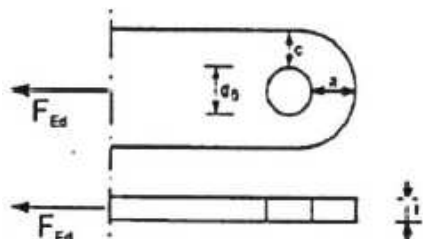
$$F_{v,Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} = \sqrt{168,34^2 + 278,41^2} = 325,35 \text{ kN}$$

##### 5.2.3.1.2 Parametry čepu

materiál čepu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Průměr čepu	$d = 55 \text{ mm}$
Plocha čepu	$A = 2376 \text{ mm}^2$
Modul průřezu	$w_{y,el} = 1,633 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

##### 5.2.3.1.3 Parametry plechu

materiál plechu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Tloušťka plechu	$t = 36 \text{ mm}, t_1 = 20 \text{ mm}$
Velikost otvoru	$d_0 = 60 \text{ mm}$



#### 5.2.3.1.4 Geometrické požadavky na čepový spoj

$$F_{v,Ed} = 325,35 \text{ kN}$$

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{Mp}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{325,35 \cdot 10^3 \cdot 1,45}{235 \cdot 10^6}} = 31,4 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{325,35 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 0,036 \cdot 235 \cdot 10^6} + \frac{2 \cdot 0,06}{3} = 59,2 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{325,35 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 0,036 \cdot 235 \cdot 10^6} + \frac{0,06}{3} = 39,2 \text{ mm}$$

Návrh:  $t = 36 \text{ mm}$ ;  $a = 60 \text{ mm}$ ;  $c = 60 \text{ mm}$

#### 5.2.3.1.5 Posouzení čepu na střih

$$F_{v,Ed} = 325,35 \text{ kN}$$

$$d = 55 \text{ mm}; A = 2376 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 2376 \cdot 10^{-6} \cdot 360 \cdot 10^6}{1,25} = 410,54 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 410,54 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 325,35 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$

#### 5.2.3.1.6 Posouzení čepu a plechu na otláčení

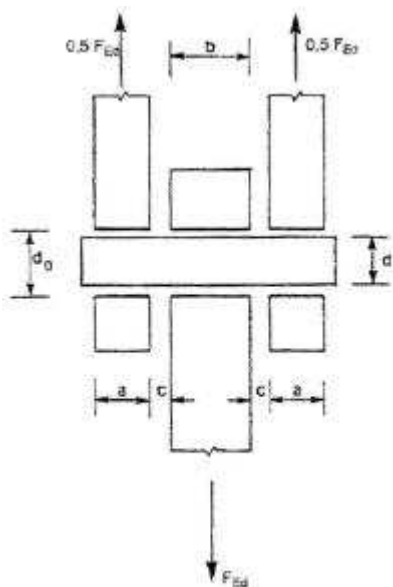
$$F_{b,Ed} = 325,35 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 0,036 \cdot 0,055 \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 761,40 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 761,40 \text{ kN} \geq F_{b,Ed} = 325,35 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$

Tloušťky plechů

$$2 \cdot t_1 = 2 \cdot 20 = 40 \text{ mm} \geq t = 36 \text{ mm} \quad \dots \text{vyhoví}$$



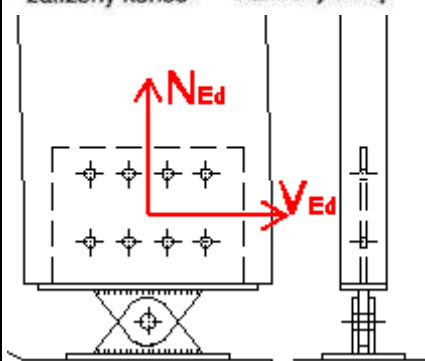
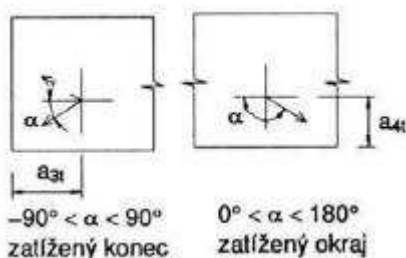
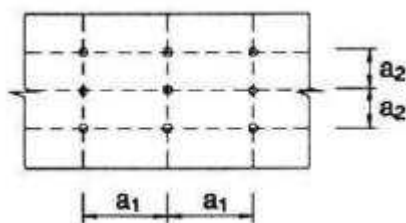
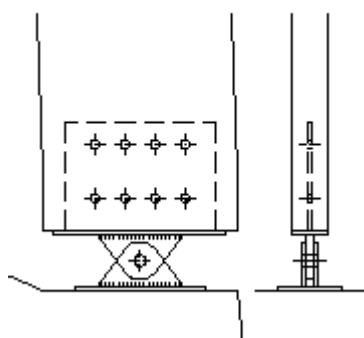
#### 5.2.3.1.7 Posouzení čepu na ohyb

$$F_{v,Ed} = 325,35 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (b + 4c + 2a) = \frac{325,35 \cdot 10^3}{8} \cdot (0,036 + 4 \cdot 0,001 + 2 \cdot 0,02) = 2,68 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot w_{y,el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 1,633 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 5,76 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 5,76 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 2,68 \text{ kNm} \quad \dots \text{vyhoví}$$



#### 5.2.3.1.8 Posouzení čepu na kombinaci stříhu a ohybu

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{2,68 \cdot 10^3}{5,76 \cdot 10^3}\right)^2 + \left(\frac{325,35 \cdot 10^3}{410,54 \cdot 10^3}\right)^2 = 0,85 \leq 1$$

... vyhoví

#### 5.2.3.2 Posouzení připojení vsazeného plechu do oblouku

Připojení je provedeno z kolíků a vsazeného plechu do oblouku.

Každý 4. prvek by měl být svorník, to znamená 2 prvky jsou svorníky.

##### 5.2.3.2.1 Parametry kolíků a svorníků

materiál plechu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Průměr kolíku	$d = 20 \text{ mm}$
Plocha kolíku	$A = 314 \text{ mm}^2$

##### 5.2.3.2.2 Parametry vsazeného plechu

materiál plechu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Tloušťka plechu	$t = 20 \text{ mm}$
Velikost otvoru	$d_0 = 20 \text{ mm}$

##### 5.2.3.2.3 Geometrie spoje

Minimální vzdálenosti sousedních kolíků

$$a_1 = (4 + 3 \cdot |\cos \alpha|) \cdot d = (4 + 3 \cdot |\cos 0^\circ|) \cdot 20 = 140 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 20 = 80 \text{ mm}$$

Vzdálenosti kolíků od kraje

$$a_{3,t} = 7 \cdot d = 7 \cdot 20 = 140 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = (2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d = (2 + 2 \cdot \sin 90^\circ) \cdot 20 = 80 \text{ mm}$$

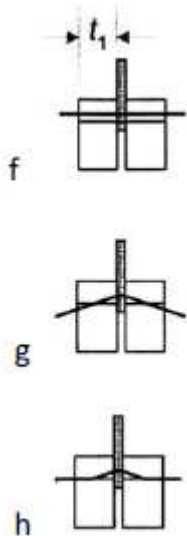
##### 5.2.3.2.4 Maximální výslednice na vsazený plech

Tlak přenesen kontaktem

Rozhodující kombinace

$$N_{Ed} = 61,01 \text{ kN}; V_{Ed} = 168,34 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{61,01^2 + 168,34^2} = 179,05 \text{ kN}$$



### 5.2.3.2.5 Únosnost jednoho spojovacího prvku na jeden stříh

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,f} \\ F_{v,Rk,g} \\ F_{v,Rk,h} \end{cases} = \min \begin{cases} 31,16 \cdot 10^3 \\ 17,58 \cdot 10^3 \\ 23,94 \cdot 10^3 \end{cases} = 17,58 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,f} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d = 20,77 \cdot 75 \cdot 20 = 31,16 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,g} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2} - 1} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

$$= 20,77 \cdot 75 \cdot 20 \cdot \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 260,67 \cdot 10^3}{20,77 \cdot 20 \cdot 75^3} - 1} \right] + \frac{0}{4} = 17,58 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,h} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

$$= 2,3 \cdot \sqrt{260,67 \cdot 10^3 \cdot 20,77 \cdot 20} + \frac{0}{4} = 23,94 \text{ kN}$$

Pevnost otláčení

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{24,93 \cdot 10^6}{1,2 \cdot \sin^2 90^\circ \cdot \cos^2 90^\circ} = 20,77 \text{ MPa}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 380 =$$

$$= 24,93 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 0,9 + 0,015 \cdot d = 1,30 + 0,015 \cdot 20 = 1,2$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 20^{2,6} = 260,67 \text{ kN/mm}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{17,58}{1,3} = 12,17 \text{ kN}$$

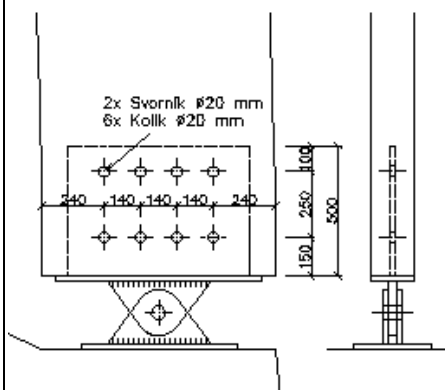
### 5.2.3.2.6 Posouzení kolíkového spoje

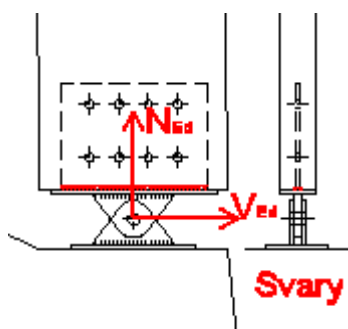
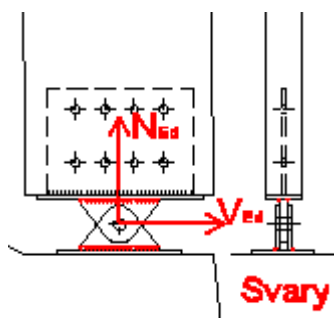
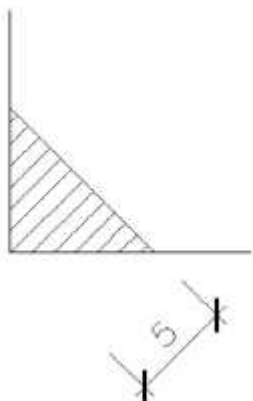
Návrh 6 kolíků Ø20 mm a 2 svorníky Ø20 mm.

$$F_{1,Ed} = \frac{F_{Ed}}{n} = \frac{179,05 \cdot 10^3}{8} = 22,38 \text{ kN}$$

$$F_{1,Ed} = 22,38 \text{ kN} \leq 2 \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 12,17 = 24,34 \text{ kN}$$

... vyhoví





### 5.2.3.3 Posouzení svarů

#### 5.2.3.3.1 Přivaření styčnickového plechu koutovým svarem

$$V_{Ed} = 168,34 \text{ kN}; N_{Ed} = 61,01 \text{ kN}$$

$$\text{Délka svaru } l_1 = 400 \text{ mm}; \text{ Tloušťka svaru } a_1 = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{61,01 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 0,004} = 10,79 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{168,34 \cdot 10^3}{0,004} = 42,09 \text{ MPa}$$

$$A_w = 2 \cdot a_1 \cdot l_1 = 2 \cdot 0,05 \cdot 0,4 = 0,004 \text{ m}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{10,79^2 + 3 \cdot 10,79^2 + 3 \cdot 42,09^2} =$$

$$= 76,02 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,5} = 300 \text{ MPa}$$

... vyhoví

$$\sigma_{\perp} = 10,79 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} = \frac{360 \cdot 10^6}{1,5} = 240 \text{ MPa}$$

... vyhoví

#### 5.2.3.3.2 Přivaření vsazeného plechu koutovým svarem

$$V_{Ed} = 168,34 \text{ kN}; N_{Ed} = 61,01 \text{ kN}$$

$$\text{Délka svaru } l_1 = 700 \text{ mm}; \text{ Tloušťka svaru } a_1 = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{61,01 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 0,007} = 6,16 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{168,34 \cdot 10^3}{0,007} = 24,05 \text{ MPa}$$

$$A_w = 2 \cdot a_1 \cdot l_1 = 2 \cdot 0,005 \cdot 0,7 = 0,007 \text{ m}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{6,16^2 + 3 \cdot 6,16^2 + 3 \cdot 24,05^2} =$$

$$= 43,44 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,5} = 300 \text{ MPa}$$

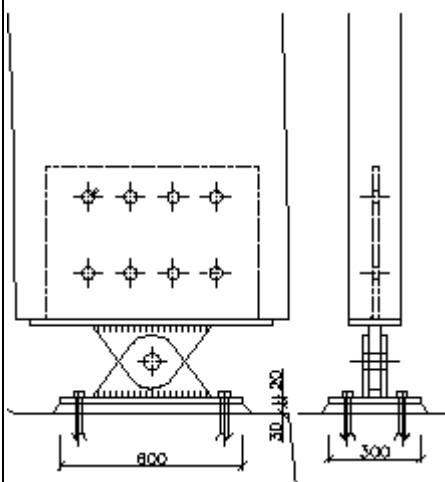
... vyhoví

$$\sigma_{\perp} = 6,16 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} = \frac{360 \cdot 10^6}{1,5} = 240 \text{ MPa} \quad \dots \text{vyhoví}$$

## Reakce

Lineární výpočet, Extrém : Globální  
Výběr : Vše  
Kombinace : CO1

Podpora	Šlív	R <sub>x</sub> [kN]	R <sub>y</sub> [kN]	R <sub>z</sub> [kN]
Studená váz	Studená váz	Studená váz	Studená váz	Studená váz
Sn18/N37	CO1/29	-168,09	-9,94	277,58
Sn13/N72	CO1/23	168,34	-9,93	278,41
Sn35/N764	CO1/13	0,01	-15,09	28,76
Sn35/N764	CO1/7	-0,02	19,30	16,57
Sn18/N37	CO1/12	80,83	11,77	-92,36



## 5.2.3.4 Posouzení kotevních šroubů

### 5.2.3.4.1 Maximální smyková síla

$$F_{v,Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{168,34^2 + 9,93^2} = 168,60 \text{ kN}$$

### 5.2.3.4.2 Parametry šroubů

Návrh 4x šroub M24 4.8

Kotevní šroub	M24 4.8
Mez kluzu	$f_{yb} = 320 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_{ub} = 400 \text{ Mpa}$
Průměr šroubu	$d = 24 \text{ mm}$
Plocha jádra šroubu	$A_s = 353 \text{ mm}^2$

### 5.2.3.4.3 Parametry vsazeného plechu

materiál plechu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Tloušťka plechu	$t = 20 \text{ mm}$

### 5.2.3.4.4 Posouzení únosnosti ve stříhu pro jednu stříhovou plochu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 353}{1,25} = 67,78 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{4 \cdot F_{v,Rd}} = \frac{168,60}{4 \cdot 67,78} \leq 1,00$$

$$0,62 \leq 1,00$$

... vyhoví

### 5.2.3.4.5 Posouzení únosnosti v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,556 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 20}{1,25} = 192,15 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) =$$

$$= \min \left( 2,8 \cdot \frac{60}{36} - 1,7; -; 2,5 \right) = \min(2,967; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left( \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right) = \min \left( \frac{400}{360}; 1,0; \frac{60}{3 \cdot 36}; - \right) =$$

$$= \min(1,11; 1,0; 0,556; -) = 0,556$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{4 \cdot F_{b,Rd}} = \frac{168,60}{4 \cdot 192,15} \leq 1,00$$

$$0,22 \leq 1,00$$

... vyhoví

#### 5.2.3.4.6 Posouzení únosnosti v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 400 \cdot 314}{1,25} = 101,66 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{92,36}{4 \cdot 101,66} \leq 1,00$$

$$0,23 \leq 1,00$$

... vyhoví

#### 5.2.3.4.7 Posouzení únosnosti v protlačení

$$\beta_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 38,8 \cdot 20 \cdot 360}{1,25} = 421,26 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{4 \cdot \beta_{p,Rd}} = \frac{92,36}{4 \cdot 421,26} \leq 1,00$$

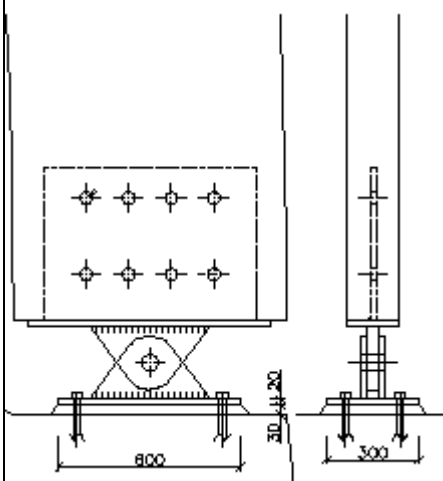
$$0,05 \leq 1,00 \quad \dots \text{vyhoví}$$

#### 5.2.3.4.8 Posouzení pro kombinace stříhu a tahu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{\sqrt{80,83^2 + 11,77^2}}{4 \cdot 168,60} + \frac{92,36}{1,4 \cdot 4 \cdot 101,66} \leq 1,0$$

$$0,46 \leq 1,00 \quad \dots \text{vyhoví}$$



#### 5.2.3.4.9 Posouzení únosnosti betonu v tlaku

Návrh rozměru plechu:  $a = 600 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

Beton C16/20

Roznášecí plocha

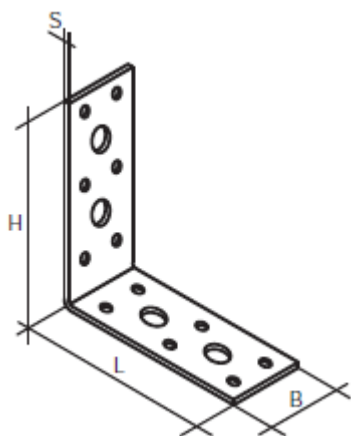
$$A = a \cdot b = 600 \cdot 300 = 180000 \text{ mm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{16}{1,5} = 10,67 \text{ MPa}$$

$$F_{c,Rd} = f_{cd} \cdot A = 10,67 \cdot 180000 = 1920,60 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{c,Rd}} = \frac{278,41}{1920,60} \leq 1,00$$

$$0,15 \leq 1,00 \quad \dots \text{vyhoví}$$



Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní  
Výběr : Vše  
Třída : Všechny MSU

Průřez : vaznice - OBDEL (160; 180)

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]
B986	COI/14	0,000	-11,64	3,04	3,50
B583	COI/11	3,462	13,41	-6,40	0,45
B587	COI/32	3,500	6,92	-8,92	-3,17
B587	COI/32	0,000	0,79	6,44	3,23
B906	COI/43	3,500	-5,23	3,00	-8,98
B711	COI/42	0,000	-5,17	3,00	9,10

### 5.3 Připojení vaznice k plnostěnnému oblouku

Spoj vaznice s vazníkem je proveden pomocí úhelníku BeA 90°, kombinovaný rovnoramenný

Rozměry: 110 x 110 x 3,0 x 40 mm (H x L x S x B)

Návrh: 4x vrut Ø 10 mm, délky 60 mm

#### 5.3.1 Posouzení únosnosti pro jeden střih

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ F_{v,Rk,a} = \min \left\{ 6,199 \cdot 10^3 \right. \right. \\ \left. \left. F_{v,Rk,b} = 6,45 \cdot 10^3 \right\} = 6,199 \text{ kN} \right.$$

$$F_{v,Rk,a} = 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d = 0,4 \cdot 25,83 \cdot 60 \cdot 10 = 6,199 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,b} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = \\ = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 60,91 \cdot 10^3 \cdot 25,83 \cdot 10} + \frac{0}{4} = 6,45 \text{ kN}$$

Pevnost otláčení - předvrtané otvory

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 350 = \\ = 25,83 \text{ MPa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 510 \cdot 10^{2,6} = 60,91 \text{ kN/mm}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{6,199}{1,3} = 4,29 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 4 \cdot 4,29 = 17,18 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 13,41 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$

#### 5.3.2 Posouzení únosnosti spoje na vytažení

$$F_{v,Ed} = \sqrt{V_z^2 + V_y^2} = \sqrt{9,10^2 + 8,92^2} = 12,74 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = n^{0,9} = 4^{0,9} = 3,48$$

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 380^{1,5} = 26,67 \text{ MPa}$$

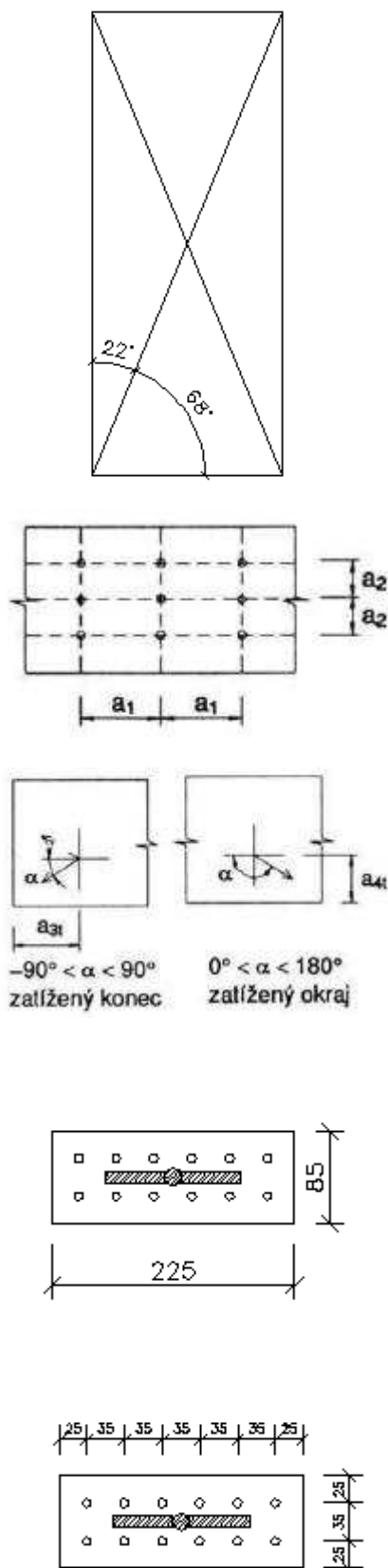
$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha \cdot 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{26,67 \cdot 10^6}{\sin^2 0^\circ \cdot 1,5 \cos^2 0^\circ} = 17,78 \text{ MPa}$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k} = \\ = 3,48 \cdot (\pi \cdot 10 \cdot 57)^{0,8} \cdot 17,78 = 24,78 \text{ kN}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{24,78}{1,3} = 17,15 \text{ kN}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = 17,15 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 13,41 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$





## 5.4 Připojení ztužidla

Spoj je proveden pomocí styčnickového plechu.

Ztužidlo je připojeno pod úhlem  $22^\circ$

Návrh: 4x vrut  $\varnothing 8 \text{ mm}$ , délky 100 mm

Plech 225x85 mm, tl. 5 mm

Minimální vzdálenosti sousedních vrutů

$$a_1 = 4 \cdot d = 4 \cdot 8 = 32 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 8 = 32 \text{ mm}$$

Vzdálenosti vrutů od kraje

$$a_{3,t} = 4 \cdot d = 4 \cdot 8 = 32 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 8 = 20 \text{ mm}$$

### 5.4.1 Připojení styčnickové plechu k vazníku

#### 5.4.1.1 Působící síly

$$\alpha = 22^\circ$$

$$N_{Ed} = 22,90 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,y} = 22,90 \cdot \sin \alpha = 22,90 \cdot \sin 22^\circ = 8,58 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,x} = 22,90 \cdot \cos \alpha = 22,90 \cdot \cos 22^\circ = 21,23 \text{ kN}$$

#### 5.4.1.2 Posouzení únosnosti pro jeden střih

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ F_{v,Rk,a} = 8,44 \cdot 10^3, F_{v,Rk,b} = 4,55 \cdot 10^3 \right\} = 4,55 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,a} = 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d = 0,4 \cdot 28,67 \cdot 92 \cdot 8 = 8,44 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,b} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 34,097 \cdot 10^3 \cdot 28,67 \cdot 8} + \frac{0}{4} = 4,55 \text{ kN}$$

Pevnost otláčení - předvrtané otvory

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) \cdot 380 = 28,67 \text{ MPa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 510 \cdot 8^{2,6} = 34,097 \text{ kN/mm}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{4,55}{1,3} = 3,15 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 6 \cdot 3,15 = 18,89 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 8,58 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$

#### 5.4.1.3 Posouzení únosnosti spoje na vytažení

$$n_{ef} = n^{0,9} = 6^{0,9} = 5,02$$

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 380^{1,5} = 26,67 \text{ MPa}$$

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha \cdot 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{26,67 \cdot 10^6}{\sin^2 0^\circ \cdot 1,5 \cos^2 0^\circ} = 17,78 \text{ MPa}$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k} =$$

$$= 5,02 \cdot (\pi \cdot 8 \cdot 92)^{0,8} \cdot 17,78 = 43,79 \text{ kN}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{43,79}{1,3} = 30,32 \text{ kN}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = 30,32 \text{ kN} \geq F_{ax,Ed} = 21,23 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$

#### 5.4.1.4 Posouzení kombinace osového a příčného zatížení

$$\left( \frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,\alpha,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 = \left( \frac{21,23}{30,32} \right)^2 + \left( \frac{8,58}{18,89} \right)^2 = 0,70 \leq 1$$

... vyhoví

#### 5.4.2 Přivaření styčnickového plechu koutovým svarem

Délka svaru  $l_1 = 50 \text{ mm}$ ; Tloušťka svaru  $a_1 = 5 \text{ mm}$

$$N_{Ed} = 22,90 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,y} = 22,90 \cdot \sin \alpha = 22,90 \cdot \sin 22^\circ = 8,58 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,x} = 22,90 \cdot \cos \alpha = 22,90 \cdot \cos 22^\circ = 21,23 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{8,58 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 0,0005} = 12,13 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{21,23 \cdot 10^3}{0,0005} = 42,46 \text{ MPa}$$

$$A_w = 2 \cdot a_1 \cdot l_1 = 2 \cdot 0,005 \cdot 0,05 = 0,0005 \text{ m}^2$$

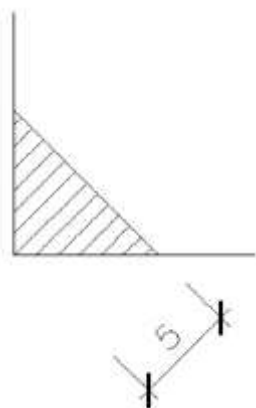
#### 5.4.2.1 Posouzení svaru styčnickového plechu

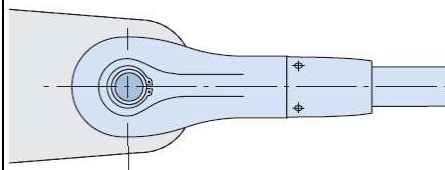
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{12,13^2 + 3 \cdot 12,13^2 + 3 \cdot 42,46^2} =$$

$$= 77,44 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,5} = 300 \text{ MPa}$$

... vyhoví

$$\sigma_{\perp} = 12,13 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} = \frac{360 \cdot 10^6}{1,5} = 240 \text{ MPa} \quad \dots \text{vyhoví}$$





### 5.4.3 Připojení ztužidla

Ztužidla jsou kloubově připojena k plnostěnným vazníkům našroubovanými litinovými hlavicemi firmy Halfen - systém táhel DETAN.

Únosnost hlavice a čepu dle výrobce  $F_{Rd} = 70,5 \text{ kN}$

#### 5.4.3.1 Parametry čepového připoje

materiál plechu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Tloušťka plechu	$t_l = 10 \text{ mm}$
Velikost otvoru	$d_0 = 16 \text{ mm}$
Průměr čepu	$d = 15,5 \text{ mm}$

##### 5.4.3.1.1 Geometrické požadavky na čepový spoj

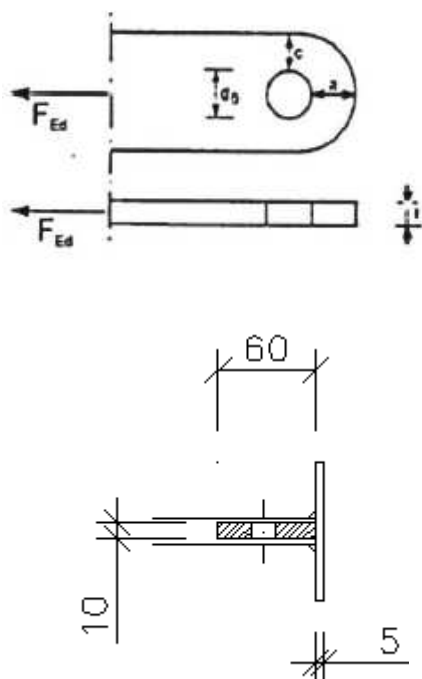
$$F_{v,Ed} = 22,90 \text{ kN}$$

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{Mp}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{22,90 \cdot 10^3 \cdot 1,45}{235 \cdot 10^6}} = 8,3 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{22,90 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 0,01 \cdot 235 \cdot 10^6} + \frac{2 \cdot 0,016}{3} = 15,5 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{22,90 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 0,01 \cdot 235 \cdot 10^6} + \frac{0,016}{3} = 10,2 \text{ mm}$$

Návrh:  $t = 10 \text{ mm}$ ;  $a = 20 \text{ mm}$ ;  $c = 20 \text{ mm}$



#### 5.4.3.2 Posouzení čepu na střih

Návrh od výrobce, udávaná hodnota únosnosti hlavice a čepu dle výrobce  $F_{Rd} = 70,5 \text{ kN}$

$$F_{v,Ed} = 22,90 \text{ kN} \leq F_{Rd} = 70,5 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$

##### 5.4.3.2.1 Posouzení plechu na otláčení

$$F_{v,Ed} = 22,90 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 0,01 \cdot 0,0155 \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 54,64 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 54,64 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 22,90 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$

Výčet : sloupová  
Kombinace : CO1

Podpora	Slav	R <sub>x</sub> [kN]	R <sub>y</sub> [kN]	R <sub>z</sub> [kN]
Sloupová v	Sloupová v	Sloupová v	Sloupová v	Sloupová v
Sn47/N776	CO1/8	-0,38	-2,86	42,78
Sn47/N776	CO1/11	0,38	1,99	-29,08
Sn35/N764	CO1/13	0,01	-15,09	28,76
Sn35/N764	CO1/7	-0,02	19,30	16,57
Sn47/N776	CO1/6	0,37	1,99	-30,67
Sn48/N777	CO1/4	0,25	-1,68	45,62

Průřez : sloupěk - OBDEL (500; 200)

Prvek	Slav	dx [m]	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]
Sloupová v	Sloupová v	Sloupová v	Sloupová v	Sloupová v
B1635	CO1/4	0,000	-45,62	-1,68
B1634	CO1/5	3,749	34,14	-2,29
B1622	CO1/6	11,500	-8,64	-20,20
B1622	CO1/7	0,000	-16,57	19,30

## 5.5 Kotvení sloupku

### 5.5.1 Reakce do podpor

Viz. příloha Scia Engineer

$$R_y = -15,09 \text{ kN}; \quad R_z = 28,76 \text{ kN}$$

$$R_y = 19,30 \text{ kN}; \quad R_z = 16,57 \text{ kN}$$

$$R_y = 1,99 \text{ kN}; \quad R_z = -30,67 \text{ kN}$$

$$R_y = -1,68 \text{ kN}; \quad R_z = 45,62 \text{ kN}$$

### 5.5.2 Vnitřní síly ve sloupu

Viz. příloha Scia Engineer

$$N = -45,62 \text{ kN}; \quad V = -1,68 \text{ kN}$$

$$N = 34,14 \text{ kN}; \quad V = -2,29 \text{ kN}$$

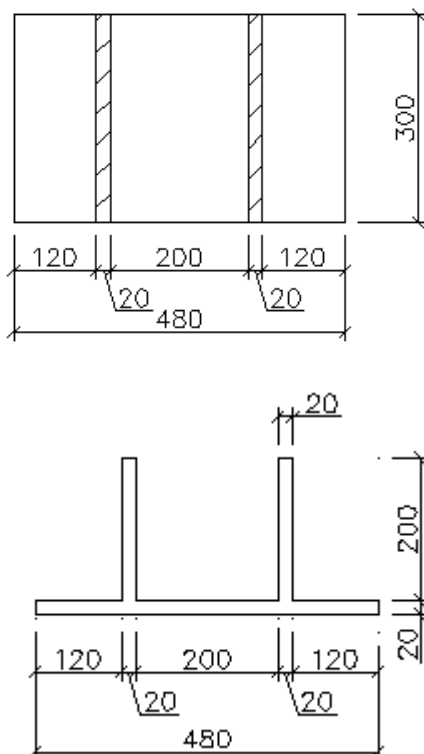
$$N = -8,64 \text{ kN}; \quad V = -20,20 \text{ kN}$$

$$N = -16,57 \text{ kN}; \quad V = 19,30 \text{ kN}$$

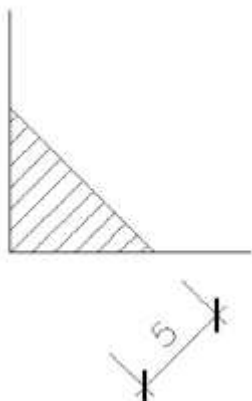
### 5.5.3 Posouzení MSÚ

#### 5.5.3.1 Návrh kotevního prvku

Kotevní prvek navržen z plechu tloušťky 20mm. Boční prvky jsou přivařeny koutovým svarem o tloušťce svaru  $a_1 = 5 \text{ mm}$ .



materiál plechu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Tloušťka plechu	$t = 20 \text{ mm}$
Velikost otvoru	$d_0 = 25 \text{ mm}$



### 5.5.3.2 Posouzení svarů

#### 5.5.3.2.1 Přivaření bočního plechu koutovým svarem

$$V_{Ed} = 19,30 \text{ kN}; N_{Ed} = 34,14 \text{ kN}$$

$$\text{Délka svaru } l_1 = 300 \text{ mm}; \text{ Tloušťka svaru } a_1 = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{34,14 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 0,003} = 4,55 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{19,30}{0,003} = 11,38 \text{ MPa}$$

$$A_w = 2 \cdot a_1 \cdot l_1 = 2 \cdot 0,05 \cdot 0,3 = 0,003 \text{ m}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{4,55^2 + 3 \cdot 4,55^2 + 3 \cdot 11,38^2} =$$

$$= 21,71 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,5} = 300 \text{ MPa}$$

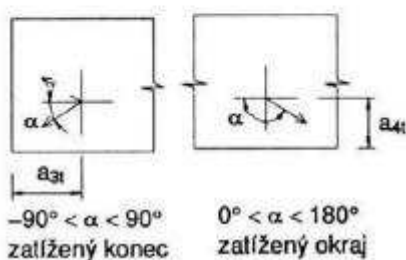
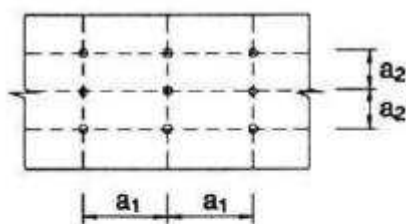
... vyhoví

$$\sigma_{\perp} = 4,55 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} = \frac{360 \cdot 10^6}{1,5} = 240 \text{ MPa}$$

... vyhoví

### 5.5.3.3 Parametry svorníků

materiál plechu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Průměr svorníku	$d = 24 \text{ mm}$
Plocha svorníku	$A = 452 \text{ mm}^2$



#### 5.5.3.3.1 Geometrie spoje

Minimální vzdálenosti sousedních svorníků

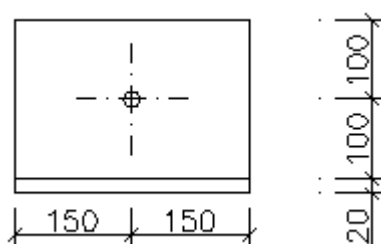
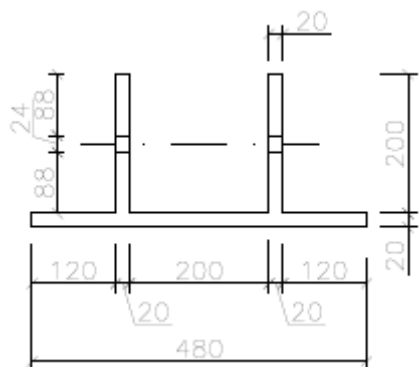
$$a_1 = (4 + 3 \cdot |\cos \alpha| \cdot d) = (4 + 3 \cdot |\cos 0^\circ|) \cdot 24 = 168 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 24 = 96 \text{ mm}$$

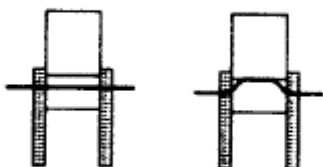
Vzdálenosti svorníků od kraje

$$a_{3,t} = 7 \cdot d = 7 \cdot 20 = 168 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = (2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d = (2 + 2 \cdot \sin 90^\circ) \cdot 20 = 96 \text{ mm}$$



►  $t_2$  ◀



j/l

m

### 5.5.3.3.2 Maximální výslednice

Tlak přenesen kontaktem

Rozhodující kombinace

$$V_{Ed} = 19,30 \text{ kN}; N_{Ed} = 34,14 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{34,14^2 + 19,30^2} = 39,22 \text{ kN}$$

### 5.5.3.3.3 Únosnost jednoho spojovacího prvku na jeden stříh

Pro tlusté ocelové desky jako vnější prvky dvojstřížných spojů.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{v,Rk,l} \\ F_{v,Rk,m} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 34,24 \cdot 10^3 \\ 38,95 \cdot 10^3 \end{array} \right\} = 34,24 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,l} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d = 14,27 \cdot 200 \cdot 24 = 34,24 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,m} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d + \frac{F_{ax,Rk}^2}{4}} =$$

$$= 2,3 \cdot \sqrt{418,77 \cdot 10^3 \cdot 14,27 \cdot 24 + \frac{0}{4}} = 38,95 \text{ kN}$$

Pevnost otláčení

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{23,68 \cdot 10^6}{1,66 \cdot \sin^2 90^\circ \cdot \cos^2 90^\circ} = 14,27 \text{ MPa}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 380 =$$

$$= 23,68 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,3 + 0,015 \cdot d = 1,3 + 0,015 \cdot 24 = 1,66$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 24^{2,6} = 418,77 \text{ kN/mm}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{34,24}{1,3} = 23,70 \text{ kN}$$

### 5.5.3.3.4 Posouzení kolíkového spoje

Návrh 1 svorník Ø20 mm.

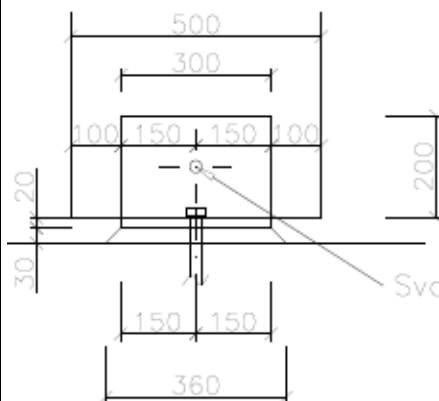
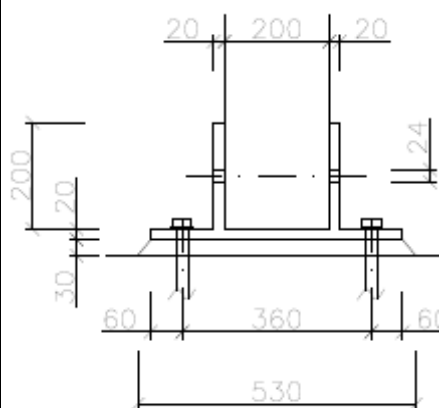
$$F_{1,Ed} = \frac{F_{Ed}}{n} = \frac{39,22 \cdot 10^3}{1} = 39,22 \text{ kN}$$

$$F_{1,Ed} = 39,22 \text{ kN} \leq 2 \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 23,70 = 47,40 \text{ kN}$$

... vyhoví

Lineární výpočet, Extrém : Globální  
Výběr : Sn33, Sn48  
Kombinace : CO1

Podpora	Slav	R <sub>x</sub> [kN]	R <sub>y</sub> [kN]	R <sub>z</sub> [kN]
Sn47/N776	CO1/8	-0,38	-2,86	42,78
Sn47/N776	CO1/11	0,39	1,99	-29,08
Sn35/N764	CO1/13	0,01	-15,09	28,76
Sn35/N764	CO1/7	-0,02	19,30	16,57
Sn47/N776	CO1/5	0,37	1,99	-30,67
Sn48/N777	CO1/4	0,25	-1,68	45,62



### 5.5.3.4 Posouzení kotevních šroubů

#### 5.5.3.4.1 Maximální smyková síla

$$F_{v,Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{0,02^2 + 19,30^2} = 19,30 \text{ kN}$$

#### 5.5.3.4.2 Parametry šroubů

Návrh 2x šroub M20 4.8

Kotevní šroub	M20 4.8
Mez kluzu	$f_{yb} = 320 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_{ub} = 400 \text{ Mpa}$
Průměr šroubu	$d = 20 \text{ mm}$
Plocha jádra šroubu	$A_s = 245 \text{ mm}^2$

#### 5.5.3.4.3 Parametry plechu

materiál plechu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
Tloušťka plechu	$t = 20 \text{ mm}$

#### 5.5.3.4.4 Posouzení únosnosti ve stříhu pro jednu stříhovou plochu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 245}{1,25} = 47,04 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{2 \cdot F_{v,Rd}} = \frac{19,30}{2 \cdot 47,04} \leq 1,00$$

$$0,21 \leq 1,00$$

... vyhoví

#### 5.5.3.4.5 Posouzení únosnosti v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,556 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 20}{1,25} = 160,13 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) =$$

$$= \min \left( 2,8 \cdot \frac{50}{36} - 1,7; -; 2,5 \right) = \min(2,967; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left( \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right) = \min \left( \frac{400}{360}; 1,0; \frac{50}{3 \cdot 30}; - \right) =$$

$$= \min(1,11; 1,0; 0,556; -) = 0,556$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{2 \cdot F_{b,Rd}} = \frac{19,30}{2 \cdot 160,13} \leq 1,00$$

$$0,06 \leq 1,00$$

... vyhoví

#### 5.5.3.4.6 Posouzení únosnosti v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 400 \cdot 245}{1,25} = 70,56 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{2 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{30,67}{2 \cdot 70,56} \leq 1,00$$

$$0,22 \leq 1,00$$

... vyhoví

#### 5.5.3.4.7 Posouzení únosnosti v protlačení

$$\beta_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 32,3 \cdot 20 \cdot 360}{1,25} = 350,69 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{2 \cdot \beta_{p,Rd}} = \frac{30,67}{2 \cdot 350,69} \leq 1,00$$

$$0,02 \leq 1,00 \quad \dots \text{vyhoví}$$

#### 5.5.3.4.8 Posouzení pro kombinace stříhu a tahu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{\sqrt{0,37^2 + 1,99^2}}{2 \cdot 47,04} + \frac{30,67}{1,4 \cdot 2 \cdot 70,56} \leq 1,0$$

$$0,18 \leq 1,00 \quad \dots \text{vyhoví}$$

#### 5.5.3.4.9 Posouzení únosnosti betonu v tlaku

Návrh rozměru plechu:  $a = 480 \text{ mm}$

$$b = 300 \text{ mm}$$

Roznášecí plocha

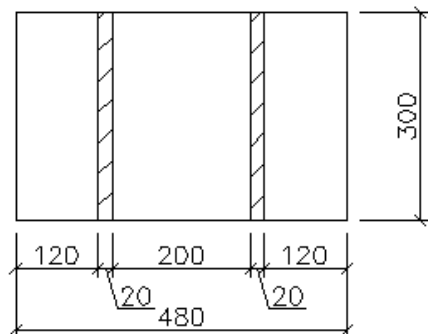
$$A = a \cdot b = 480 \cdot 300 = 144000 \text{ mm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{16}{1,5} = 10,67 \text{ MPa}$$

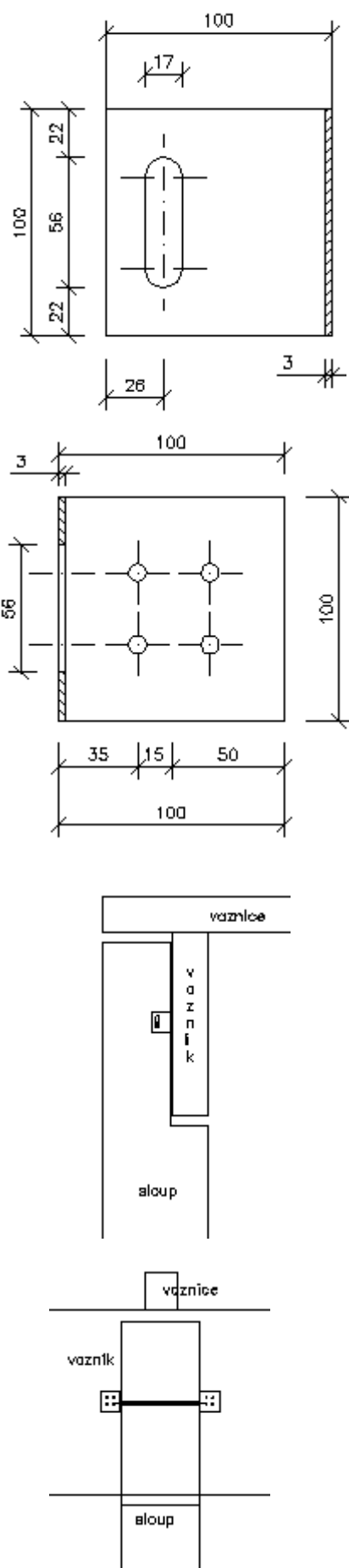
$$F_{c,Rd} = f_{cd} \cdot A = 10,67 \cdot 144000 = 1536,48 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{c,Rd}} = \frac{45,62}{1536,48} \leq 1,00$$

$$0,03 \leq 1,00 \quad \dots \text{vyhoví}$$







## 5.6 Připojení sloupku na vazník

Připojení pomocí posuvného uložení.

### 5.6.1 Parametry plechu

Úhelníkový plech 90°, 100x100x100x3

materiál plechu	ocel S235
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ MPa}$
Tloušťka plechu	$t = 3 \text{ mm}$

### 5.6.2 Posouzení únosnosti spoje na vytažení

Návrh 8x vřut  $\varnothing 20 \text{ mm}$

$$F_{v,Ed} = 20,20 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = n^{0,9} = 8^{0,9} = 6,5$$

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 380^{1,5} = 26,67 \text{ MPa}$$

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha \cdot 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{26,67 \cdot 10^6}{\sin^2 0^\circ \cdot 1,5 \cos^2 0^\circ} = 17,78 \text{ MPa}$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k} = 3,48 \cdot (\pi \cdot 8 \cdot 57)^{0,8} \cdot 17,78 = 46,64 \text{ kN}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{46,64}{1,3} = 32,29 \text{ kN}$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = 32,29 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 20,20 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$

### 5.6.3 Posouzení oslabeného průřezu sloupku na smyk

$$V_{y,d} = 20,20 \text{ kNm}; V_{z,d} = 0,32 \text{ kNm}$$

$$\tau_{y,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,y}}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{20,20 \cdot 10^3}{0,066} = 0,459 \text{ MPa}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,32 \cdot 10^3}{0,066} = 0,007 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{y,d}^2 + \tau_{z,d}^2} = \sqrt{0,459^2 + 0,007^2} = 0,459 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = 0,459 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 1,94 \text{ MPa} \quad \dots \text{vyhoví na smyk}$$

## 6 VÝSTUPY NA ZÁKLADY

### 6.1 Reakce od vazníku

Lineární výpočet, Extrém : Globální

Výběr : Sn1..Sn32

Kombinace : CO1

Podpora	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]
<i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*S</i>				
Sn18/N37	CO1/29	<b>-168,09</b>	-9,94	277,58
Sn13/N72	CO1/23	<b>168,34</b>	-9,93	<b>278,41</b>
Sn32/N541	CO1/28	-111,60	<b>-11,12</b>	161,31
Sn12/N36	CO1/21	16,36	<b>13,32</b>	38,27
Sn18/N37	CO1/12	80,83	11,77	<b>-92,36</b>

### 6.2 Reakce od sloupu

Lineární výpočet, Extrém : Globální

Výběr : Sn33..Sn48

Kombinace : CO1

Podpora	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]
<i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*</i>				
Sn47/N776	CO1/8	<b>-0,38</b>	-2,86	42,78
Sn47/N776	CO1/11	<b>0,39</b>	1,99	-29,08
Sn35/N764	CO1/13	0,01	<b>-15,09</b>	28,76
Sn35/N764	CO1/7	-0,02	<b>19,30</b>	16,57
Sn47/N776	CO1/5	0,37	1,99	<b>-30,67</b>
Sn48/N777	CO1/4	0,25	-1,68	<b>45,62</b>



## **7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ČSN EN 1991-1-1 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 44 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-3 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005, 52 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-4 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 124 s.
- [4] ČSN EN 1993-1-1 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 96 s.
- [5] ČSN EN 1993-1-8 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 128 s.
- [6] ČSN EN 1995-1-1 *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 114 s.
- [7] STRAKA, B., SÝKORA, K. *Dřevěné konstrukce, Studijní opory* BO03, VUT-Fast Brno, 2005
- [8] *Materiály pro navrhování dřevěných konstrukcí*. Dostupné z: <http://www.drevo.wz.cz/>
- [9] *Sněhová mapa*. Dostupné z: <http://snehovamapa.cz/>
- [10] *Systém táhel DETAN*. Dostupné z: <http://www.halfen.cz/>
- [11] *Panely KINGSPAN*. Dostupné z: <http://panely.kingspan.cz/>